



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

Desarrollo de una ayuda técnica para alumnos del colegio San Rafael (11): Mando y panel multisensorial interactivo (1)

Autor: Alba Rodríguez Lorente

Titulación: Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Profesor Tutor: Ricardo Vergaz Benito (Departamento de Tecnología Electrónica)

Codirector: Braulio García Cámara (Departamento de Tecnología Electrónica)

Fecha: 22 de Junio de 2014



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

Título: Desarrollo de una ayuda técnica para alumnos del colegio San Rafael (11):
Mando y panel multisensorial interactivo (1)

Autor: Alba Rodríguez Lorente

Tutor: Ricardo Vergaz Benito

Codirector: Braulio García Cámara

EL TRIBUNAL

Presidente: Antonio Lázaro Blanco

Vocal: Begoña Savoini Cardiel

Secretario: Fernando Martín Monar

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 9 de Julio de 2014 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de:

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Índice

Índice	4
Índice de figuras	7
Resumen	11
Abstract.....	14
Capítulo 1. Introducción y objetivos.....	15
1.1 Introducción	15
1.1.1 Diseño para Todos.....	15
1.1.2 El colegio San Rafael. Presentación.....	16
1.1.3 Ayudas técnicas en el mercado similares a la desarrollada	19
1.2 Objetivos	21
1.3 Especificaciones del sistema	21
1.3.1 Funcionamiento demandado	23
1.3.2 Requerimientos finales	23
1.4 Fases del proyecto.....	24
1.5 Medios utilizados	24
1.6 Descripción de la presente memoria	26
Capítulo 2. Diseño del sistema.....	27
2.1 Diseño del sistema completo: visión general.....	27
2.1.1 Modos configurables	27
2.1.1.1 Modo de juego 1	28
2.1.1.2 Modo de juego 2	28
2.1.1.3 Modo de funcionamiento	28
2.2 Diseño del mando a distancia	29
2.2.1 Aspecto global del sistema y mecanizados a realizar	30
2.2.2 Bloque 1. Interfaz con el usuario: botonera y LEDs	40
2.2.2.1 Interfaz de uso por el alumno	41
2.2.2.2 Interfaz de uso por el profesor.....	46
2.2.3 Bloque 2. Recepción de señales del interfaz y microcontrolador.....	49
2.2.4 Bloque 3. Encoder y sistema de transmisión.	57
2.2.4.1 Encoder	57

2.2.4.2 Transmisor	62
2.2.5 Bloque 4. Sistema de alimentación	64
2.2.6 Bloque 5. Circuito de alarma de la batería	65
Capítulo 3. Implementación y pruebas iniciales	69
3.1 Software del microprocesador	69
3.1.1 Funciones	69
3.1.2 Bucle principal (loop)	74
3.2 Construcción mecánica del sistema	78
3.2.1 Material	78
3.2.2 Impresora 3D (MakerBot – The Replicator)	79
3.2.3 Piezas	81
3.2.3 Acabados	85
3.3 Implementación de la electrónica	86
3.3.1 Placa de pruebas (protoboard)	86
3.3.2 Placa de puntos	88
3.4 Pruebas de comunicación con el panel	91
Capítulo 4. Resultados experimentales e implementación final	93
4.1 Pruebas desarrolladas	93
4.1.1 Funcionamiento satisfactorio de los modos de juego	93
4.1.1.1 Funcionamiento parcial del mando	93
4.1.1.1 Funcionamiento completo del sistema	94
4.1.2 Medida de alcances	95
4.2 Pruebas en entorno real y con usuarios finales	96
4.3 Presupuesto	97
Capítulo 5. Conclusiones y posibles líneas futuras	103
5.1 Conclusiones	103
5.2 Líneas futuras	103
Bibliografía	105
Índice de acrónimos	106
Anexos	107
A.1 Manual de usuario	107
A.2 Planos de piezas construidas	119
A.3 Esquemático del circuito	134

A.4 Programa del microcontrolador	135
A.5 Enlaces a hojas de características	146

Índice de figuras

Fig. 1. C.E.E. San Rafael	17
Fig. 2 Sala de Estimulación Sensorial del Colegio San Rafael	18
Fig. 3 Pulsador individual con conexión por puerto Jack macho	19
Fig. 4 Área de luz y sonido de 9 losetas y panel mural.....	20
Fig. 5 Cuadros musicales	20
Fig. 6 Diagrama de Gantt.....	24
Fig. 7 Diagrama de bloques general del proyecto.....	27
Fig. 8 Diagrama de bloques del subsistema Mando.....	29
Fig. 9 Vista general del mando	30
Fig. 10 Vista posterior del mando	31
Fig. 11 Boceto del piso 1 del mando	32
Fig. 12 Boceto del piso 2 del mando	32
Fig. 13 Boceto del piso 3 del mando	33
Fig. 14 Ejemplo de fases intermedias de las piezas 2.11 (izquierda) y 3.11 (derecha)	34
Fig. 15 Modelo de la pieza 1.11.....	35
Fig. 16 Modelo de la pieza 1.2.....	35
Fig. 17 Modelo de la pieza 1.12.....	35
Fig. 18 Modelo de la pieza 2.11.....	36
Fig. 19 Modelo de la pieza 2.2.....	36
Fig. 20 Modelo de la pieza 2.12.....	37
Fig. 21 Modelo de la pieza “seta”	37
Fig. 22 Modelo de las piezas 3.11 (arriba) y 3.11-modificada (abajo)	38
Fig. 23 Modelo de la pieza 3.2 (arriba) y 3.2-modificada (abajo).....	39
Fig. 24. Modelo de la pieza 3.12.....	39
Fig. 25 Modelo de los extras de la pieza 3.11 para el cajetín de los interruptores (interfaz de uso por el profesor).....	40
Fig. 26 Idea general del aspecto del mando.....	40
Fig. 27 Conjunto “seta” + plancha transparente.....	42
Fig. 28 Estructura interna de cada pulsador	42
Fig. 29 Pulsador amarillo	43

Fig. 30 Vista frontal del primer piso	43
Fig. 31 Paralelo de los 4 LEDs	44
Fig. 32 Cableado inferior de cada pulsador. Hacia la izquierda: cables de los LEDs. Arriba, cables del pulsador eléctrico.....	44
Fig. 33 Vista del interior de los pulsadores	45
Fig. 34 Jack de los colores azul y naranja en un lateral del mando.....	46
Fig. 35 Puerto Jack hembra aéreo	46
Fig. 36 Cajetilla con los interruptores	47
Fig. 37 Carcasa portapilas.....	47
Fig. 38 Modelo de las patas (Izquierda) y reverso del mando con ellas colocadas (derecha)	48
Fig. 39 Vista del piso inferior. Visibles el LED de alarma, uno de los Jack y la cajetilla de los interruptores	49
Fig. 40 Programador LabTool-48UXP	50
Fig. 41 Pin out del ATMEGA328P - PU	51
Fig. 42 Circuito con resistencia de push-up.....	52
Fig. 43 Divisor de tensión con el entrada al microprocesador	52
Fig. 44 Montaje para la transmisión del programa del módulo al transmisor.....	53
Fig. 45 6 divisores de tensión dan un nivel analógico distinto en función del pulsador activo ..	55
Fig. 46 Esquemático del MC145027 del datasheet del fabricante.....	58
Fig. 47 Esquemático del RF600E.....	59
Fig. 48 Conexión errónea de los pulsadores del encoder	60
Fig. 49 Corrección a la conexión de los pulsadores al encoder.....	61
Fig. 50 Esquemático del AM-RT4-433	62
Fig. 51 Esquemático de conexiones entre el microcontrolador, el encoder y el emisor	63
Fig. 52 Circuito con comparador	65
Fig. 53 Circuito basado en un diodo zéner	66
Fig. 54 Imagen de un LED RGB	67
Fig. 55 Esquema interno del RGB con conexión a PWM	67
Fig. 56 LED RGB cableado	68
Fig. 57 bateria_ok ()	69
Fig. 58 bateria_low ().....	70
Fig. 59 LED (led).....	71
Fig. 60 actuacion ()	72

Fig. 61 Apagado ().....	74
Fig. 62 Loop 1	75
Fig. 63 Loop 2	77
Fig. 64 Impresora 3D	79
Fig. 65 Detalle de una pieza errónea donde se aprecia el relleno	80
Fig. 66 Bobinado del ABS.....	81
Fig. 67 Pieza 3.12 seccionada	82
Fig. 68 Pieza 3.12 en ABS rojo	82
Fig. 69 Pieza 1.2.....	83
Fig. 70 Pieza 2.2.....	83
Fig. 71 Pieza 2.12.....	84
Fig. 72 Pieza seta	84
Fig. 73 Pieza 3.11-modificada y sus extras.....	84
Fig. 74 Pieza 3.2-modificada.....	85
Fig. 75 Piso 3 completo incluyendo los extras y los agujeros para Jacks y el LED RGB	85
Fig. 76 Piezas del piso 1 imprimadas.....	86
Fig. 77 Pulsadores finales azul y naranja.....	86
Fig. 78 Montaje del conjunto encoder-emisor- receptor-decoder.....	87
Fig. 79 Montaje del mando sobre protoboard.....	88
Fig. 80 Primer montaje en placa de pruebas	89
Fig. 81 Montaje con conectores.....	89
Fig. 82 Placa de puntos rotulada ubicada en la que será su posición final en el piso 3.....	90
Fig. 83 Conexión del piso 2 (pulsadores) a la placa mediante un conector	90
Fig. 84 Montaje final	91
Fig. 85 Montaje en protoboard para la prueba de comunicación	92
Fig. 86 Prueba de los pulsadores.....	93
Fig. 87 Prueba del piso 2	94
Fig. 88 Prueba del MDJ1.....	95
Fig. 89 Prueba en el centro	97
Fig. 90 Pantalla y mando	110
Fig. 91 Ejemplo del accionamiento de los interruptores	111
Fig. 92 Accionamiento de la palanca.....	111

Fig. 93 Interruptores On/Off	112
Fig. 94 Interruptores de modo de juego	113
Fig. 95 Interruptores de modo de funcionamiento.....	114
Fig. 96 Pulsadores de acceso al audio	115
Fig. 97 Micrófono y palanca selectora de Play/Rec	115
Fig. 98 Puerto Jack de entrada para los altavoces	116
Fig. 99 Entrada de alimentación de la pantalla	116
Fig. 100 Acceso a la carcasa de las pilas.....	117

Agradecimientos

Llegando al final de todo este proceso, que ha incluido todas las situaciones que alguna vez imaginé a cerca de estudiar la carrera e incluso alguna que no, no me queda si no agradecer todo aquello que ha ocurrido y a quienes lo han hecho posible, porque de todo se aprende.

En primer lugar quiero dar las gracias a mi familia. A mis padres, que además de todo el resto de cosas que han implicado estos años de estudio (matrículas, bajones, días sin vernos aun viviendo en la misma casa) trataban incluso de darme ideas de lo que le podía pasar al circuito sin saber lo que era. A mi hermano, que aunque fuera me preguntaba qué tal el día e incluso a mis abuelos, que se las apañaban para recordar preguntarme si la impresora ya funcionaba.

A mi novio, Álvaro, que me ha acompañado desde la indecisión de escoger ingeniería e incluso antes, hasta los últimos momentos con la memoria, animándome, enfadándose y celebrándolo conmigo cuando yo lo hacía, pese a que nunca le ha llamado la atención todo esto. Por terminar de hacerme la comida para que me diera tiempo a imprimir las transparencias, por todas las veces que me ha echado de menos y porque, al final de cada día, me sigue esperando para verme un ratito. Además también puso su granito de arena en el proyecto, taladrando y atornillando los últimos tornillos cuando no me atrevía ni si quiera a mirar.

A mis compañeros, y ya amigos, durante la carrera. Porque han estado tanto en las clases amenas, como en las que no se entendía nada y porque, fuera del horario lectivo han querido echar alguna hora más conmigo. En especial tengo que agradecerle a Javier, mi compañero de proyecto, que se sentara el primer día de clase (y todos los demás) a mi lado, porque sin él nada hubiera sido lo mismo. A él debo, por supuesto, agradecerle también su colaboración en la realización conjunta de este proyecto. También merecen mención aparte los compañeros del 1.2.C12 durante la recta final, que nos ofrecieron su compañía y su ayuda.

Tampoco podía dejarme a mis amigos, los de siempre. Ellos han estado conmigo también desde el primer “¿qué tal?” a la vuelta del primer día de clase en la universidad, hasta los últimos “ánimo” y “duerme un poco más”. En especial le doy las gracias a Eva que nos ha ayudado con la edición de los vídeos, le debo una.

Continuando y ya finalizando con los agradecimientos más personales, debo dar las gracias al personal del colegio San Rafael, que siempre han respondido a cualquier cosa que les hemos comentado y se han prestado a las visitas abriéndonos las puertas de par en par. Ha sido un placer trabajar para ellos y, sobre todo, para sus alumnos. Además debo y quiero agradecer a Braulio y a Ricardo, mi director y tutor de proyecto respectivamente, que se hayan tomado la molestia de corregirnos y guiarnos en la memoria y, especialmente a Ricardo, que lo haya hecho también durante el

proyecto y durante la carrera. Fueron ya sus clases en FIE las que hicieron que terminara haciendo un proyecto de electrónica analógica y que le escogiera como tutor.

Por último, agradezco especialmente a los profesores Antonio Lázaro Blanco y a Luis Mengíbar Pozo, que respondieran tan amablemente a nuestras preguntas sobre la alimentación y la lógica. A los técnicos de laboratorio, que nos ayudaron con el soldado y nos prestaron conocimientos y material, y a Agustín Fernández-Pacheco, antiguo colaborador del grupo GDAF de la universidad, que pasó toda una tarde ayudándome a reconfigurar la impresora desinteresadamente.

Es también de agradecer la participación de la empresa Equin SA en nuestro proyecto con la aportación gratuita del integrado para el audio y a Muebles Laura, donde nos cortaron también gratuitamente la pieza frontal de la pantalla.

A todos ellos, ¡muchas gracias!

Resumen

El Trabajo Final de Grado que a continuación se expone forma parte del proyecto *Mando y Panel Multisensorial Interactivo* que representa una ayuda técnica para el C.E.E del Hospital San Rafael de Madrid.

El principal objetivo del proyecto es fomentar la relación causa-efecto y la memoria en niños con discapacidades físicas y cognitivas severas mediante la estimulación audiovisual del alumno, creando para ello un sistema que satisfaga dichas necesidades con el menor coste posible.

El sistema completo está formado por una pantalla y un mando a distancia, comunicados entre sí por radiofrecuencia. Cada uno de estos bloques se presenta como una memoria aparte, dentro de dos diferentes Trabajos Fin de Grado. En esta memoria en concreto se trata el subsistema Mando, detallando el proceso de diseño electrónico y mecánico y su implementación.

Pensados para ser reflejo entre sí, la pantalla y el mando están conformados por 6 casillas correspondiendo cada una con uno de los 6 colores requeridos por el centro. Mientras que la pantalla las muestra blancas en reposo, iluminándose desde el interior del color pertinente durante el juego, el mando muestra el color directamente mediante un conjunto de 6 pulsadores que se iluminan o no dependiendo del juego en curso. Cuentan con 2 modos de juego a su vez configurables con 2 modos de funcionamiento cada uno. Gobernado por un microcontrolador Arduino, contiene un sistema de LEDs que iluminan cada botón, un sistema de codificación y envío de señales por radiofrecuencia, un sistema de alimentación por baterías, y una botonera que permite la selección del modo de juego y funcionamiento por parte de los profesores.

El mando se fabrica en plástico ABS, completamente impreso con una impresora 3D. Permite de 1 a 6 jugadores que podrán jugar en colaboración accediendo a cada pulsador mediante una conexión con puerto Jack.

El sistema fue puesto a prueba en entorno real con resultados satisfactorios.

Abstract

The Final Degree Project exposed here is a part of the total project “Control and Interactive Multisensory Panel” which is a technical aid developed for the Special Educational College of San Rafael Hospital in Madrid.

The main objective of the project is to promote the cause-effect relation and memory skills in children with severe physical and cognitive disabilities by means of audiovisual stimulation of the student. In order to do this, a system that meets those needs with the least possible cost is created.

The complete system consists of a display and a remote control connected by radio. Each of these blocks is shown as a separate memory. Herein specifically the remote control subsystem is described, detailing the process of electronic and mechanical design and its implementation.

Designed to be reflect of each other, display and control are comprised of 6 squares, each corresponding to one of the 6 colors required by the center. While the display must show white-color at rest, it will light from inside with the appropriate color during the game. On the contrary, the control displays the color directly by a set of 6 buttons that will be illuminated or not depending on the game in progress. 2 game modes can be played with 2 different operation modes configurable on each one.

The control is made of ABS plastic, fully printed with a 3D printer. 1-6 players can play together driving their own buttons by connecting with Jack port. Conducted by an Arduino microcontroller, it holds a “LEDs system” that light each button up, a coding and a radiofrequency transmission system battery power and a switch panel that allows the selection of the game mode and function by the teachers.

The system was tested in real environment with satisfactory results.

Capítulo 1. Introducción y objetivos

1.1 Introducción

Al comienzo de la memoria de este Trabajo Fin de Grado (TFG), es importante recalcar que, al haber sido realizado en estrecha colaboración con [1], hay partes comunes a ambos redactadas en la práctica en equipo. Por ejemplo, la introducción que aquí se expone. Al final del capítulo se darán unas indicaciones para aclarar los apartados que el lector puede encontrar similares en ambos documentos, por formar el cuerpo común del trabajo de ambos TFGs.

1.1.1 Diseño para Todos

El Diseño para Todos tiene como objetivo acercar los productos y servicios ofrecidos al mayor número posible de personas.

Aunque procede del ámbito de la accesibilidad sin barreras para personas con discapacidad, se observan beneficios para una población mucho más amplia independientemente de sus características, su edad o habilidades dominantes en la sociedad actual, basando los diseños adscritos bajo esta “norma” en la diversidad humana, la inclusión social y la igualdad.

Impulsado por el Instituto Europeo de Diseño (EIDD) y de las políticas europeas de accesibilidad, desde el 2004, con la Declaración de Estocolmo se define el Diseño para Todos como:

“La actividad por la que se concibe o proyecta, desde el origen, y siempre que ello sea posible, entornos, procesos, bienes, productos, servicios, objetos, instrumentos, dispositivos o herramientas, de tal forma que puedan ser utilizados por todas las personas, en la mayor extensión posible.”¹

A su vez, el consejo de Europa ha emprendido a este respecto varias iniciativas relacionadas con el Diseño para Todos que han influido en que muchos centros de estudios, principalmente centros universitarios, hayan incluido asignaturas y programas centrados en esta materia. El Diseño para Todos es por tanto una estrategia fundamental en el Plan de Acción del Consejo de Europa para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidades.

En lo que al trabajo respecta, éste se realiza completamente de acuerdo a esta norma, como se irá viendo a lo largo del documento. Además se contó en todo el proceso con la opinión del personal del centro, al que se destina el trabajo, que puntualizó cada nuevo paso de forma que se adaptara a las necesidades de los

¹ Ley 51/2003, de 2 de diciembre, de igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad

alumnos. Es esta una norma básica del Diseño para Todos, que evita desagradables sorpresas en la implementación final de los productos en el mercado.

Principios del Diseño para Todos

Aunque no se tiene un grupo de criterios de diseño establecidos, la filosofía del diseño universal, según el Centro para el Diseño Universal², se basa en 7 principios [2]:

1. Uso equitativo: el diseño debe ser fácil de usar y adecuado para todas las personas independientemente de sus capacidades y habilidades.
2. Flexibilidad: el diseño debe poder adecuarse a un amplio rango de preferencias y habilidades individuales.
3. Simple e intuitivo: el diseño debe ser fácil de entender independientemente de la experiencia, los conocimientos, las habilidades o el nivel de concentración del usuario.
4. Información fácil de percibir: el diseño debe ser capaz de intercambiar información con usuario, independientemente de las condiciones ambientales o las capacidades sensoriales del mismo.
5. Tolerante a errores: el diseño debe minimizar las acciones accidentales o fortuitas que puedan tener consecuencias fatales o no deseadas.
6. Escaso esfuerzo físico: el diseño debe poder ser usado eficazmente y con el mínimo esfuerzo posible.
7. Dimensiones apropiadas: los tamaños y espacios deben ser apropiados para el alcance, manipulación y uso por parte del usuario, independientemente de su tamaño, posición, y movilidad.

1.1.2 El colegio San Rafael. Presentación

El proyecto está orientado a proporcionar una ayuda a los alumnos del Colegio de educación especial San Rafael de Madrid (Fig.1).

² NC State University, The Center for Universal Design



Fig. 1. C.E.E. San Rafael

El colegio, en funcionamiento desde 1976, situado en el recinto del hospital San Rafael, atiende a alumnos seriamente discapacitados tanto psíquica como físicamente con edades comprendidas entre los 3 y los 21 años. Los alumnos se organizan en 3 grupos con los que el personal trabaja:

- Educación Infantil para alumnos entre 3 y 6 años.
- Educación Básica Obligatoria para alumnos entre 6 y 16 años.
- Programa de Transición a la Vida Adulta para alumnos entre 16 y 21 años.

Dichos alumnos son tratados conforme a sus necesidades por profesionales de cada uno de los campos que se precisan en un colegio de estas características, proporcionándoles un tratamiento integral que abarca aspectos pedagógicos, físicos, de comunicación, salud, alimentación, aseo e higiene. El personal del colegio está compuesto por:

- Profesores de Educación Especial.
- Pedagogas.
- Logopedas
- Psicólogos
- Fisioterapeutas
- Profesor de Ayudas Técnicas
- Auxiliares Técnico – Educativos
- Terapeuta Ocupacional

El complejo está organizado en salas que muestran en cada puerta un pictograma explicativo sobre la actividad que se desarrolla en su interior, de manera que los niños asocien el dibujo a la clase. La sala que nos ocupa en este Trabajo Fin de Grado (en adelante, TFG) es la “Sala de Estimulación Multisensorial”. En ella los niños

disfrutaban de varias actividades de ocio con sistemas y equipos (juguetes en definitiva) que incorporan luces y sonidos, perfectos para hacerles disfrutar mientras estimulan sus sentidos (Fig.2).



Fig. 2 Sala de Estimulación Sensorial del Colegio San Rafael

Lamentablemente la mayoría de productos comerciales desarrollados a este respecto están enfocados para el grueso de la población. La comunidad de personas con discapacidad (entorno al 6% de la población) se ve afectado por este motivo ya que los productos tecnológicos no se adaptan a sus necesidades y/o condiciones.

Existen no obstante empresas, que se dedican o tienen un departamento específico para adaptar dichos artículos pero los precios de mercado ascienden notablemente y el abanico de productos es reducido debido a la variedad de condiciones de las personas con discapacidad.

Debido a la especificidad, y por tanto al alto precio de los equipos que los niños requieren, los profesores del centro tratan de adecuar los productos del mercado habitual a las necesidades habituales de los alumnos del centro. Por ejemplo, una técnica habitual es introducir una entrada Jack hembra en los juguetes o aparatos. De este modo, a través de un Jack macho acoplado a su pulsador personalizado, los alumnos son capaces de interactuar con los dispositivos. Cada alumno dispone de su propio pulsador (a veces adaptado a pulsar con el mentón, con la cabeza o simplemente mediante soplo), como parte de su instrumental cotidiano (Fig.3).



Fig. 3 Pulsador individual con conexión por puerto Jack macho

Proyecto a desarrollar

Por todo esto, los profesores del centro sugieren el diseño de una ayuda técnica para los alumnos, construyendo de manera totalmente adaptada y desde cero un equipo que puedan utilizar como complemento a su desarrollo.

Para ello se creará un juego que estimule sensorialmente a los niños y que les haga apreciar la reacción causa-efecto y la memoria a través de un panel y un mando que interactúen entre ellos.

1.1.3 Ayudas técnicas en el mercado similares a la desarrollada

Como se comentó anteriormente en el mercado existen ya productos comerciales que ahondan en la relación causa-efecto y son similares al que nos concierne. Muchos de ellos orientan su uso para todo tipo personas incluyendo al colectivo al que va dirigido el proyecto, ubicándose en salas Snoezelen.

Una sala multisensorial o Snoezelen, es un espacio pensado para que una persona con discapacidad o sin ella obtenga beneficios en base a estímulos sensoriales. Estas salas reúnen sistemas pensados para que el individuo experimente una estimulación controlada, que permita gestionar las necesidades educativas y terapéuticas de los usuarios.

Este tipo de salas así como los productos que las llenan tienen un alto precio, derivado de su exclusividad y de la diversidad de adaptaciones que, centrando su utilidad para personas con discapacidad cognitiva y motora, pueden conllevar.

El proyecto que se va a realizar tiene su reflejo en productos como el que muestra la figura 4, de la empresa Handycat y cuyo precio es de 4606,9€:



Fig. 4 Área de luz y sonido de 9 losetas y panel mural

Las losetas se iluminan y suenan cuando el usuario se mueve por encima. Este modelo incorpora además un panel de pulsadores para obtener la acción recíproca: cuando se toca el panel las losas se encienden y viceversa.

Otro producto de características similares al implementado se muestra en la Fig.5. También de Handycat, tiene un coste de 1613,89€. Formado por una colchoneta y un panel mural, el panel se ilumina y suena con la pulsación de los contactores que se encuentran bajo cada casilla de color en la colchoneta:



Fig. 5 Cuadros musicales

Uno de los principales objetivos marcados para este proyecto es que realizar un dispositivo que, aun reuniendo características similares a las de los productos anteriormente descritos, sea de muy bajo coste. Esta condición lo haría más accesible para los centros o individuales que lo necesiten, siendo a la vez una condición necesaria en el desarrollo del TFG por las limitaciones de presupuesto implícitas a él, y ofreciendo el valor añadido al propio Colegio por no suponerle apenas coste al mismo.

1.2 Objetivos

El objetivo principal del proyecto es potenciar la relación causa-efecto en niños con discapacidades físicas y cognitivas severas.

La relación causa-efecto es una de las primeras nociones que se aprenden en la infancia. A partir de movimientos involuntarios se aprende que existe una correlación entre acción y consecuencia, lo que da lugar a respuestas consistentes.

Las actividades causa-efecto son particularmente importantes en el caso de niños con discapacidades cognitivas o motoras ya que se requiere mayor estimulación para compensar estos déficits. Con estas actividades se pretende aprovechar movimientos y dotarlos de un significado, potenciando además procesos cognitivos como la atención y la memoria, y emocionales como la autoestima [4].

Para conseguir esto se pretende más concretamente desarrollar un sistema completo de juego multisensorial e interactivo que aliente este aprendizaje mediante estímulos audiovisuales. Dada la complejidad del sistema, el proyecto completo se ha dividido en dos sub-proyectos dedicados al diseño y desarrollo de una pantalla y un mando inalámbrico, respectivamente, que ofrecerán una serie de estímulos cromáticos y visuales obligando a la interacción con el niño, el cual debe seguir las secuencias sugeridas para obtener una respuesta positiva.

En particular, este Trabajo Fin de Grado se ha dedicado a la implementación y construcción del mando cuyo objetivo es enviar la respuesta del usuario a la pantalla la cual que actuará en consecuencia. El TFG se realiza conjuntamente con el de Javier Ramos Nodal [1], que se centra en el desarrollo del panel.

1.3 Especificaciones del sistema

El sistema se compondrá de dos partes claramente diferenciadas y dependientes entre sí: un mando a distancia y una pantalla, comunicadas por RF. Las especificaciones de funcionamiento y dimensiones vienen impuestas por el personal del Colegio San Rafael.

- Pantalla

La pantalla presentará el estímulo audiovisual al usuario que actuará en consecuencia, recibirá recompensa por acierto o penalización por fallo según el Modo de Juego que esté en curso. Por ello estará dotada de 6 casillas que se iluminarán con los 6 colores requeridos y contendrá el sistema de grabación y reproducción de audio. Los sonidos se grabarán en la pantalla (uno por casilla) y se reproducirán desde unos

altavoces conectados a ésta que aportará el propio centro. Las dimensiones y color se detallan en la memoria del sub-proyecto Pantalla [1].

El motivo de que todo el audio se concentre en la pantalla es que, de encontrarse en el mando, los alumnos centrarían completamente la atención en la fuente de ese sonido que tendrían más cerca. Al situar el audio en la pantalla se consigue que los alumnos compartan su atención entre los dos focos de estímulo.³

Con respecto a la alimentación se estableció una alimentación directa a la red para no depender de pilas y/o baterías.

- **Mando**

El mando será utilizado principalmente por los alumnos, a diferencia de la pantalla. Será el encargado de recibir la respuesta al estímulo de la pantalla o del propio mando según el Modo de Juego activo. Para este fin, debe contener 6 pulsadores, que deben poder iluminarse y que muestren de forma claramente visible y en todo momento los 6 colores que la pantalla reproduce al iluminarse. Mientras que en la pantalla el color se crea mediante los LEDs, en el mando se usarán LEDs blancos y será el botón el que sea directamente del color al que hace referencia.

El tamaño será el de un folio DIN A4, y la superficie se debe repartir completamente entre los 6 botones. No obstante, los pulsadores deben tener algún tipo de separación para impedir que el niño pulse varios botones de forma simultánea por error. Además, los pulsadores no deben sobresalir de la superficie del mando y al pulsarlos se deben hundir hacia dentro. Deben ser lo suficientemente robustos como para aguantar el manejo por parte de niños con discapacidad psíquica severa, pero al mismo tiempo, suficientemente sensibles como para permitir pulsaciones a otros niños con movilidads más reducidas.

Como requisito extra, el juego deberá incorporar entradas Jack para que los pulsadores individuales de cada niño se puedan conectar al mando.

En este caso el mando debe estar alimentado con batería o pilas, para evitar así desplegar más cables por la zona de movimiento de los alumnos que comprometan aún más su movilidad.

³ Por requerimiento del centro.

1.3.1 Funcionamiento demandado

Se demandan en el sistema dos modos de juego, y dos modos de funcionamiento para cada uno de ellos:

- **Modo de Juego 1**

En adelante MDJ1. En este modo se ilumina algún pulsador del mando y se queda encendido a la espera de que el alumno lo pulse. Al pulsarlo, se encenderá el color correspondiente en la pantalla para que el niño lo reconozca y sonará la grabación de voz asociada a dicha casilla. Si pulsa cualquier otro botón no sucederá nada⁴. El orden en el que se van encendiendo puede ser secuencial (se van iluminando por orden de izquierda a derecha y de arriba abajo) o aleatorio, según el Modo de Funcionamiento al que se ajuste el juego.

- **Modo de Juego 2**

En adelante MDJ2. Este modelo de juego está configurado tal que se irán iluminando diversas casillas de la pantalla siguiendo una secuencia y el niño deberá reproducirla mediante los pulsadores de los colores equivalentes en el mando. Al acertar la secuencia, sonarán 3 notas musicales en el panel que indicarán acierto, y volverá a empezar la secuencia aumentada en 1. Si el alumno se equivoca, sonará una nota musical grave para indicarlo y se perderá la secuencia acumulada. Nuevamente existen dos modos de funcionamiento, secuencial o aleatorio, según la generación de la secuencia.

1.3.2 Requerimientos finales

La siguiente tabla recoge el conjunto final de especificaciones a tener en cuenta en el diseño y construcción del sistema completo:

	<u>PANTALLA</u>	<u>MANDO</u>
Dimensiones	90x60 cm	29,7x21cm
Colores de diseño	Marco negro y fondo blanco	Pulsadores del color a que corresponde
Modos de juego	2 Modos de juego (MDJ1 y MDJ2)	
Modos de funcionamiento	Secuencial y aleatorio	

⁴ Por requerimiento de los cuidadores. La experiencia en proyectos anteriores muestra que un sonido llamativo de error puede inducir a los alumnos a repetir conscientemente el error para en espera de volver a reproducir el sonido que les ha llamado la atención.

Colores de juego	Azul, amarillo, rojo, naranja, violeta, verde	
Duración de luz	3seg	
Sonidos	Grabación de voz MDJ1 y notas musicales MDJ2	
Interfaz de configuración	Sí	Sí
Alimentación	Conectado a la red	Batería (3 pilas AA)

Tabla 1. Requerimientos del sistema

1.4 Fases del proyecto

Las fases por las que fue atravesando el proyecto durante su diseño y construcción, quedan recogidas en la siguiente figura (Fig.6) que muestra el diagrama de Gantt del mismo.

El amarillo representa la parte común, en azul la parte de la pantalla y en rojo la del mando.

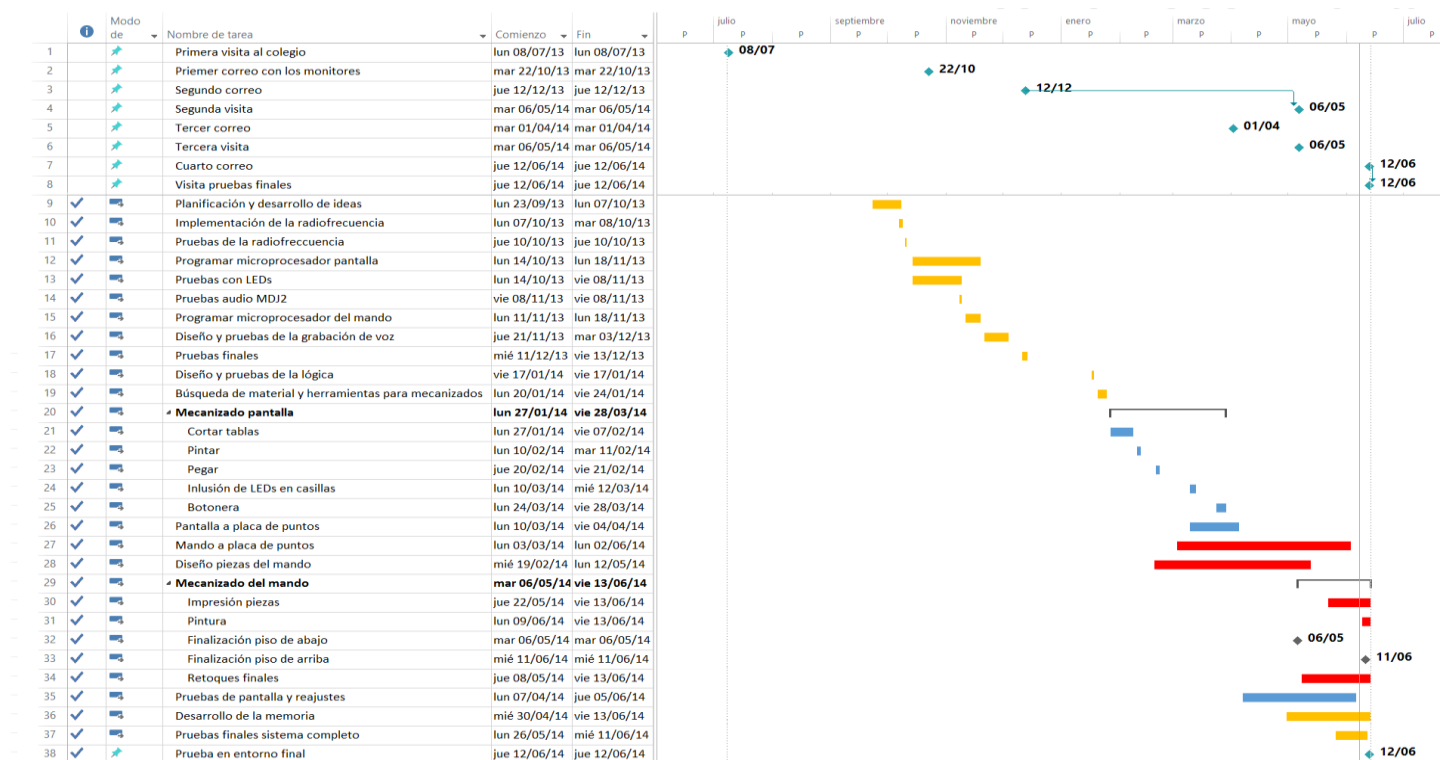


Fig. 6 Diagrama de Gantt

1.5 Medios utilizados

Para la realización del proyecto, se ha hecho uso principalmente de las herramientas de las que se dispone en el laboratorio 1.2.C12 perteneciente al Grupo

de Displays y Aplicaciones Fotónicas (GDAF) del Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad Carlos III de Madrid, entre las que se destacan:

En la parte electrónica común a la pantalla y el mando:

- Software: Orcad para simulaciones y esquemáticos.
- Puesto de soldadura: soldador, estaño, esponjas, des-soldador.
- Útiles de corte y sujeción: alicates, tenacillas de corte, pinzas.
- Fuente de alimentación.
- Osciloscopio.
- Polímetro.

También se dispone de muchos de los componentes genéricos como resistencias, condensadores, reguladores, transistores, diodos zéner y fundas termorretráctiles. Además cabe mencionar que también se dispuso del puesto de soldadura especial del laboratorio de técnicos del Departamento de Tecnología Electrónica, especialmente durante la soldadura del encapsulado SOIC [1].

En la parte mecánica, específica del mando:

- Plástico ABS en varios colores.
- Impresora 3D (MakerBot – The Replicator).
- Acetona y laca.
- Taladradora Dremel 4000: utilizada tanto como taladro haciendo uso de varios tamaños de broca, como para lijar o cortar combinando los diferentes accesorios de los que este modelo dispone.
- Calibre y regla.
- Pistola de pegamento termofusible.
- Útiles de corte: tenacillas de corte.

También se ha hecho uso por supuesto de medios propios que se han ido adquiriendo a medida que se iban requiriendo o de los que ya se disponía, como:

- Software: Google SketchUp para el diseño 3D y AutoCAD 2007 para los planos.
- Recipiente de Polipropileno de donde se recortan las planchas transparentes de los pulsadores.
- Imprimación Brugel y pintura en varios colores de Titanlux.
- Barniz.
- Cuchillo y pelacables.
- Placas protoboard y pila de petaca para pruebas electrónicas.

1.6 Descripción de la presente memoria

La presente memoria contiene partes comunes con el trabajo de Javier Ramos Nodal [1] ya que ambos forman parte de un mismo proyecto, así como partes propias que se desarrollan en base al sub-proyecto Mando.

Así el **Capítulo 1. Introducción**, es en su mayoría común a ambos trabajos. En él ha podido leerse una presentación del colegio y cómo surge la necesidad que lleva al desarrollo del sistema completo, junto a una descripción del mismo y de las fases que atravesó. El punto 1.5 *Medios utilizados* no obstante, se centra más en el sub-proyecto que específicamente se trata en esta memoria: el mando.

El **Capítulo 2. Diseño del Sistema**, tras presentar de nuevo el proyecto completo para tener una idea general del sistema, centra la atención en el mando. A partir del punto 2.2 *Diseño del mando a distancia*, se detalla tanto su aspecto y el modo en el que se llegó a la apariencia final, como el proceso de selección de los componentes electrónicos que lo conforman y frente a qué alternativas de diseño se escogieron.

En el **Capítulo 3. Implementación y pruebas iniciales** se hace hincapié en los aspectos técnicos de la construcción física del mando. En este capítulo se pormenorizan los flujogramas del software, todo lo relativo a la impresión de las piezas y las diferentes etapas que la circuitería atraviesa desde las primeras pruebas en protoboard hasta la placa de puntos. Es un capítulo específico de este subproyecto.

El **Capítulo 4. Resultados experimentales e implementación final** vuelve a ser de nuevo mayoritariamente común, ya que los alumnos y el personal del centro necesitan tanto de la pantalla como del mando para mostrar resultados. Asimismo, el presupuesto será común para dar idea del coste total del sistema quedando resaltado el capítulo correspondiente al mando.

Por último, en el **Capítulo 5. Conclusiones y posibles líneas futuras** se resalta la consecución de los objetivos comunes para dejar paso a las conclusiones personales. Se dejan además abiertas varias líneas futuras como posibles mejoras del actual subsistema Mando.

En los **Anexos** el único documento común a ambas partes, es el *Manual de usuario*. El resto de documentación es la propia del sub-proyecto en cuestión.

Capítulo 2. Diseño del sistema

2.1 Diseño del sistema completo: visión general

El sistema completo se divide en dos grandes bloques: la pantalla y el mando.

La siguiente imagen (Fig.7) esquematiza sucintamente cada uno de estos dos bloques, en los que se profundizará más adelante siguiendo un orden de abstracción de menor a mayor detalle:

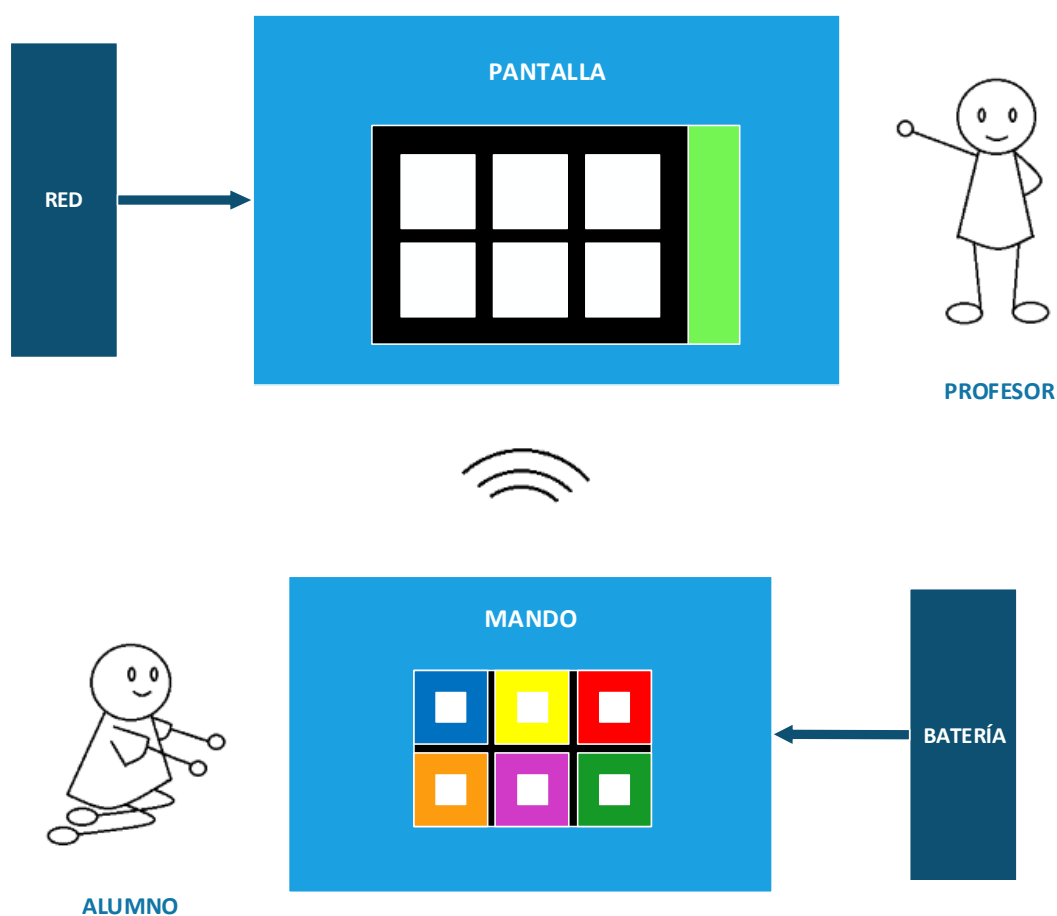


Fig. 7 Diagrama de bloques general del proyecto

Mientras que el bloque *Pantalla* se detalla en profundidad en el trabajo de Javier Ramos Nodal [1], la presente memoria de proyecto describe con profundidad el bloque *Mando*.

2.1.1 Modos configurables

El sistema contará con la posibilidad de configurar dos modos de juego diferentes, cada uno con dos modos de funcionamiento.

2.1.1.1 Modo de juego 1

En el modo de juego 1, el dispositivo más importante es el mando, que dominará sobre el control del juego, siendo el papel de la pantalla el de otorgar una recompensa al jugador cuando acierte.

En cada turno se iluminará uno de los pulsadores del mando, y el sistema quedará a la espera de que el jugador lo pulse.

Si el jugador pulsa el botón iluminado, éste se apaga y, a modo de recompensa, se ilumina el color correspondiente a dicho pulsador en la pantalla durante 3 segundos y suena en ella la grabación asociada a ese mismo color, previamente grabada por los profesores. Tras esto se enciende un nuevo pulsador en el mando, volviendo a quedar el sistema a la espera. Si el jugador falla no ocurre nada, y el pulsador actual sigue encendido a la espera de que acierte.

2.1.1.2 Modo de juego 2

En el modo de juego 2, adquiere el protagonismo el panel (o pantalla).

Se encenderá en ella una secuencia de colores que el jugador debe reproducir de manera exacta desde el mando. Cada color se enciende durante 3 segundos, pasado ese tiempo se apagará el color y se enciende el siguiente de la secuencia, así hasta completar la secuencia entera. Después la pantalla espera a que el jugador reproduzca la secuencia y el mando envíe las pulsaciones realizadas. La longitud de la secuencia comienza siendo de 1, e irá aumentando en esa misma cantidad a medida que el jugador complete con éxito la secuencia anterior, así hasta alcanzar una longitud máxima de 6, momento en el cual se reiniciará la longitud de nuevo a 1.

Cuando el jugador completa con éxito una secuencia entera, sonarán las notas musicales “La Sol La” como recompensa. Si el jugador se equivoca en alguno de los colores de la secuencia, sonará un “Do” largo (del doble de duración que cada una de las notas de premio) y se reiniciará el juego con la longitud inicial.

2.1.1.3 Modo de funcionamiento

El modo de funcionamiento establece el orden en el que se encenderán los LEDs en el modo de juego seleccionado y puede ser:

- **Aleatorio:**

En el modo de funcionamiento aleatorio, la nueva casilla en encenderse se determina de forma aleatoria. En el caso del MDJ2, la nueva casilla que se añade a la secuencia se determinará de forma aleatoria, siendo el resto de la secuencia la misma que el turno anterior.

- **Secuencial:**

En el modo de funcionamiento (MDF) secuencial se encenderán las casillas en orden. En el caso del MDJ2, se añade a la secuencia la casilla siguiente a la última de la secuencia anterior, siendo el resto de la secuencia la misma que la vez anterior.

2.2 Diseño del mando a distancia

Concentrado el enfoque de este Trabajo ya en el mando, el siguiente diagrama de bloques refiere cada parte integrante de manera que sea claramente diferenciada durante el resto del capítulo, señalando además en qué sentido van las relaciones entre ellas (Fig.8).

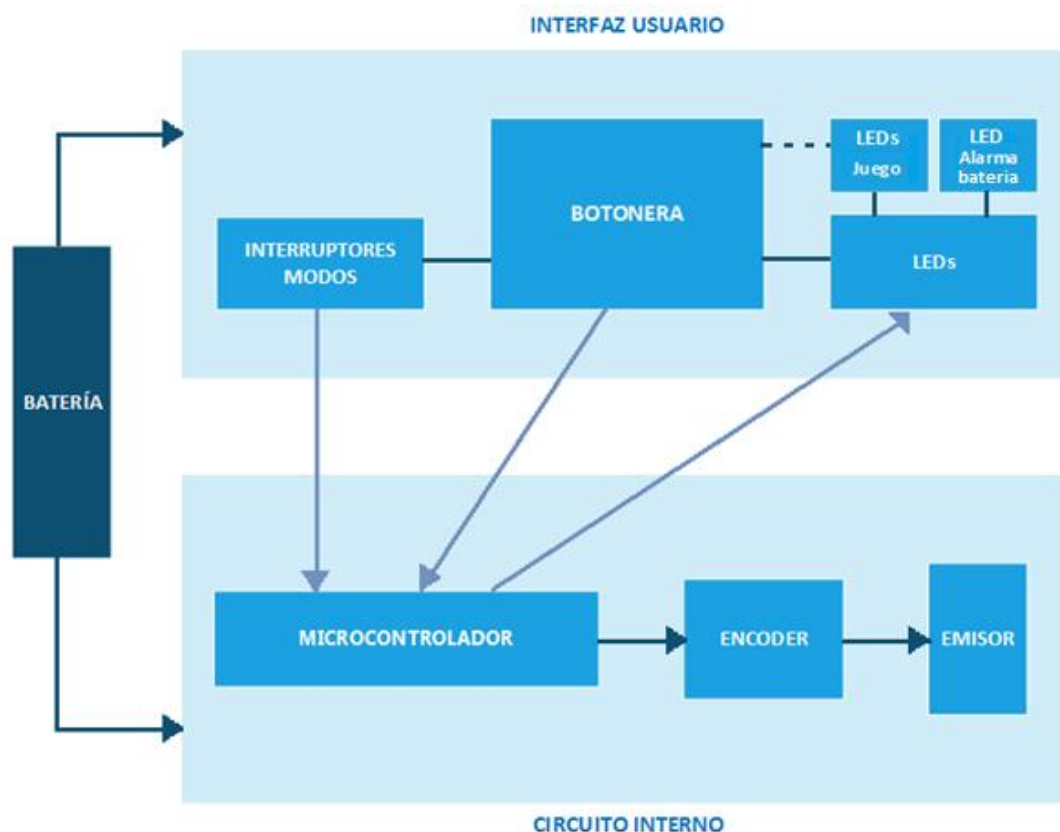


Fig. 8 Diagrama de bloques del subsistema Mando

2.2.1 Aspecto global del sistema y mecanizados a realizar

El diseño del mando estuvo desde el principio sujeto a varias restricciones impuestas desde el colegio.

- que fuera fabricado en un material resistente.
- de tamaño DIN a4, esto es de 21cmx29.7cm y del menor grosor posible.
- que las esquinas debían ser redondeadas para evitar daños a los alumnos con movilidad reducida.
- los pulsadores, debían ocupar toda la superficie del mando, y debían poder iluminarse (MDJ1) y estar hundidos.
- los interruptores de encendido de los modos, así como las pilas, debían ser difíciles de alcanzar por los niños.

En este apartado se describen los motivos que llevaron al diseño final de la parte mecánica.

El aspecto del mando es aproximadamente el de una caja de esquinas redondeadas inclinada hacia el alumno de manera que le muestre una superficie completamente ocupada por 6 pulsadores con los que interactuará en los diferentes juegos. El tamaño completo del mando una vez terminado es de 21x29.7x6.4 cm (para que se pueda entender su diseño, se muestra una foto final del mando en la Fig.9).



Fig. 9 Vista general del mando

En uno de los laterales, convenientemente alejada de los alumnos, una cajetilla esconde los interruptores de los modos y el de On/Off, y bajo las cuñas que alzan todo el diseño se encuentra el acceso a las pilas (Fig.10).



Fig. 10 Vista posterior del mando

Debido a la cantidad de detalles a tener en cuenta, desde el principio se pensó usar para su fabricación la impresora 3D del *Grupo de Displays y Aplicaciones Fotónicas (GDAF)* en vez de reutilizar cualquier otro modelo de caja comercial. Su mecanizado se tratará más en profundidad en el apartado [3.2 Construcción mecánica del sistema.](#)

Diseño del mando

Debido a la necesidad de tener un lugar que albergue la circuitería al cual lleguen los cables de los pulsadores establecidos en la base, se llegó a la conclusión de que el mando debía estar estructurado en pisos. Finalmente queda organizado en 3 pisos, considerando los marcos de la capa superior también como uno de ellos.

En cuanto al tamaño, la principal restricción de diseño vino impuesta por la superficie de impresión de la impresora 3D. Dicha superficie de impresión es de unos 20x11cm de los cuales, considerando el gradiente de temperatura existente a lo largo de la base caliente de trabajo en la impresora y el área de movimiento de la boquilla del extrusor, la superficie aprovechable es incluso algo menor (El uso de la impresora y los problemas derivados de ellos se desarrollan en el apartado [3.2.2 Impresora 3D \(MakerBot – The Replicator®\)](#)).

Para solucionar esto, se divide cada piso del mando en 6 partes cada una, redondeando las esquinas de 4 de ellas. Aprovechando la simetría y salvo pequeñas diferencias en alguna de ellas, el resultado es que habrá 3 tipos diferentes de piezas por cada piso para completar toda la superficie disponible. Se imprimirán 2 de cada una de ellas hasta completar las 6.

En las siguientes imágenes, muestra de los primeros bocetos hechos como base para el posterior diseño en 3D, se incorpora el número característico por el que se conocerá a cada pieza en adelante. El piso 1 es el superior, el 3 el inferior.

- El **piso 1** está compuesto únicamente por los marcos de los pulsadores. Harán que éstos queden hundidos, lo que satisfará este requisito (Fig.11).

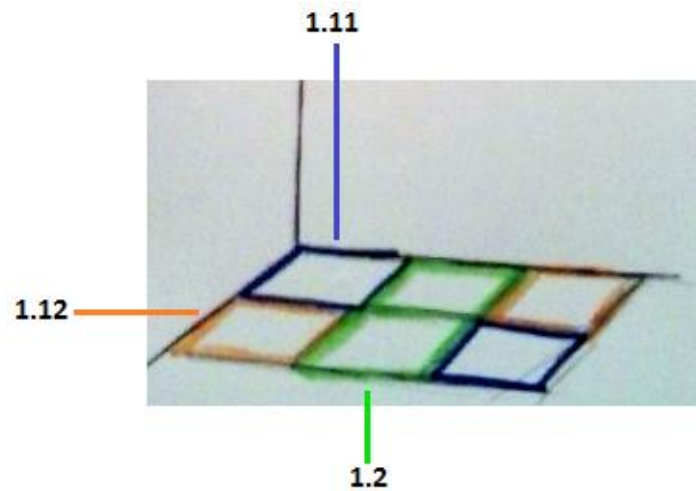


Fig. 11 Boceto del piso 1 del mando

- El **piso 2** lo forman los pulsadores en sí (Fig.12).

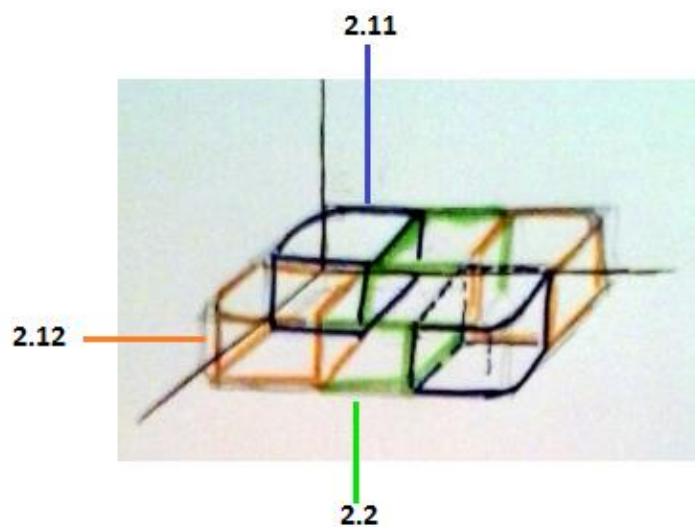


Fig. 12 Boceto del piso 2 del mando

- El **piso 3** es el depositario de la placa del circuito. Además también incluirá en las paredes laterales las entradas de Jack, el LED de alarma, la antena y el acceso a las pilas (Fig.13).

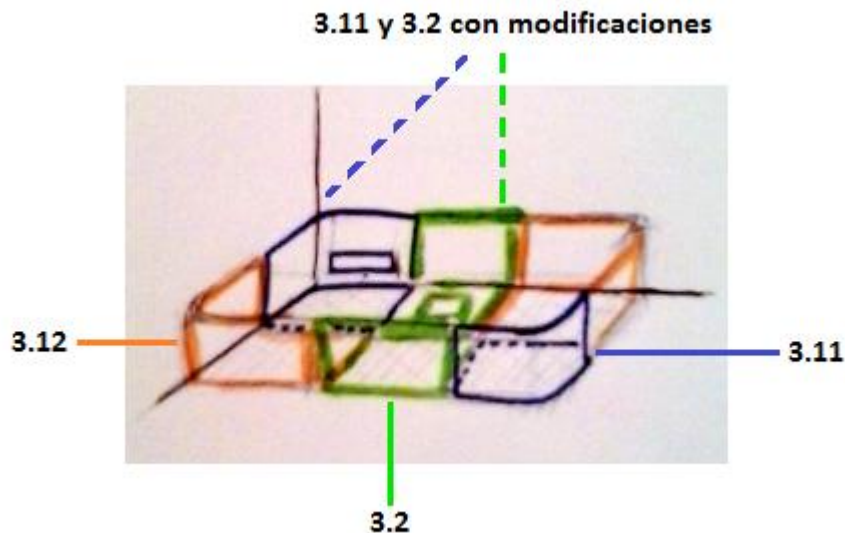


Fig. 13 Boceto del piso 3 del mando

Con todas estas consideraciones, se realizó un diseño específico que fue impreso más tarde usando una impresora 3D del GDAF. Las piezas se diseñaron utilizando el programa Google SketchUp, que se aprendió a utilizar durante el desarrollo de este proyecto.

Pasos previos

Desde el primer modelado en el programa del boceto de las piezas, se llegó al modelo final de cada parte tras varios reajustes. Hubo, por tanto muchas versiones de las piezas que quedaron atrás por no ser consideradas lo suficientemente aptas para su impresión. Alguna de ellas, sin embargo, se retocaron a posteriori tras probar la pieza físicamente.

Desde las primeras piezas, la altura fue uno de los cambios más notables a lo largo de su diseño, la cual se fue adaptando según se afinaba más en las medidas de los elementos que incluirían (por ejemplo, la altura de los “pulsadores reales” en el piso 2) o que iban a albergar y en la posición en que lo harían (por ejemplo, los interruptores y las pilas en el piso 3).

Tras varias pruebas, además se realizaron otras mejoras en las piezas, como fueron:

- la inclusión de una bandeja de tope para el pulsador, para impedir que el botón se hunda demasiado durante la pulsación.
- un orificio de guía al roscado de los tornillos de unión entre los pisos, que se utilizará más tarde en el cierre de la carcasa y que ayudará al roscado de los tornillos.

- unos taladros de inserción de los LEDs, pasando a ser de uno inicialmente proyectado para cada LED, a dos, para evitar la posibilidad de cortocircuito ánodo-cátodo.
- los grosores de las paredes y bases, que se fueron afinando según se fue comprobando su resistencia a los esfuerzos que iban a tener que soportar.

A modo de resumen, en las siguientes imágenes se da una somera idea de alguna de las fases por las que fueron pasando las piezas de este Proyecto (Fig.14):

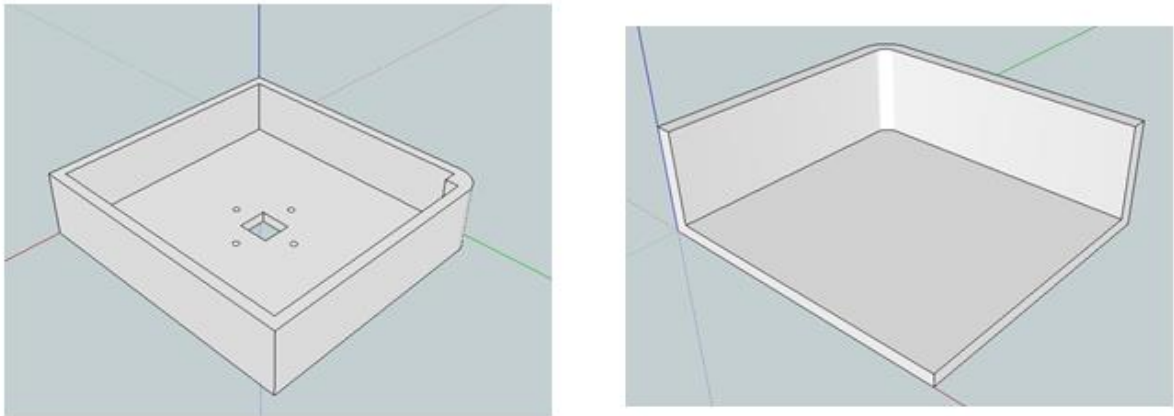


Fig. 14 Ejemplo de fases intermedias de las piezas 2.11 (izquierda) y 3.11 (derecha)

Diseño final

Las piezas que finalmente fueron impresas se muestran a continuación organizadas por pisos (para más detalles, los planos acotados se detallan en el anexo [A.2 Planos de piezas construidas](#)):

- Piso 1

(Fig.15, 16 y 17) La única y mayor diferencia entre ellas, y por lo tanto lo que las distingue, es la existencia o no de la esquina redondeada, y la posición que ocupa. En cada una de las esquinas redondeadas un agujero pasante señalará la ubicación de los tornillos que cerrarán los pisos y hará las veces de guía para facilitar el paso de rosca.

Se imprime cada una por duplicado. El tamaño de todas ellas es de 10.5x9.9x0.15⁵cm.

⁵ El grosor de las piezas del piso 1 fue elegido por el personal del centro tras probar el prototipo de uno de los pulsadores completos.

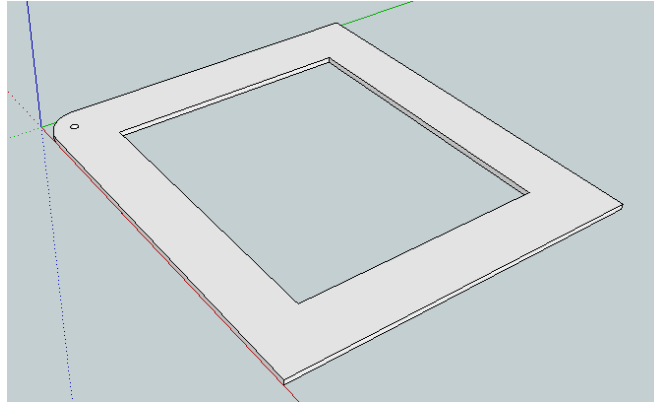


Fig. 15 Modelo de la pieza 1.11

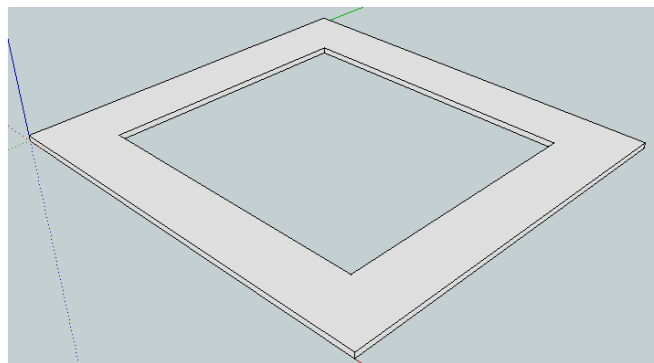


Fig. 16 Modelo de la pieza 1.2

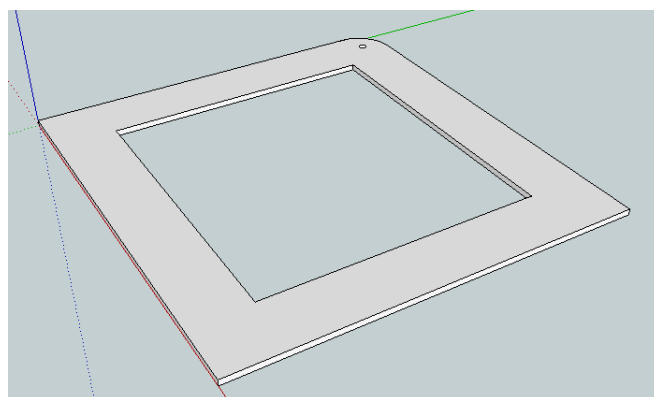


Fig. 17 Modelo de la pieza 1.12

- Piso 2

(Fig.18, 19 y 20) De nuevo la principal diferencia estriba en la ausencia o no y la situación de la esquina redondeada. El agujero rectangular central señala el lugar que ocupará el “pulsador real”, entendiendo como tal un pulsador comercial estándar, y en

cada par de los agujeros que lo rodean se insertará un LED, habiendo cuatro en total en cada pulsador. De nuevo se diseña cada esquina redondeada con una guía que facilite el atornillado entre pisos.

Se imprime cada una por duplicado. El tamaño de todas ellas es de 10.5x9.9x2.5 cm.

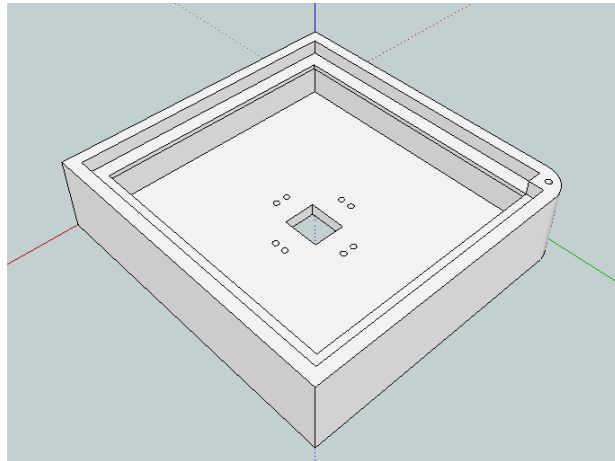


Fig. 18 Modelo de la pieza 2.11

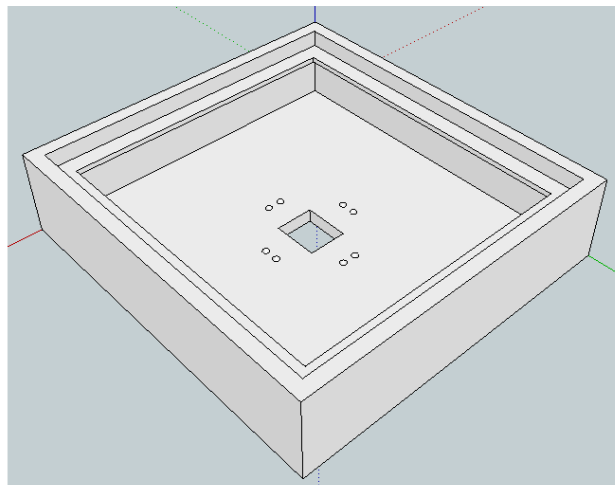


Fig. 19 Modelo de la pieza 2.2

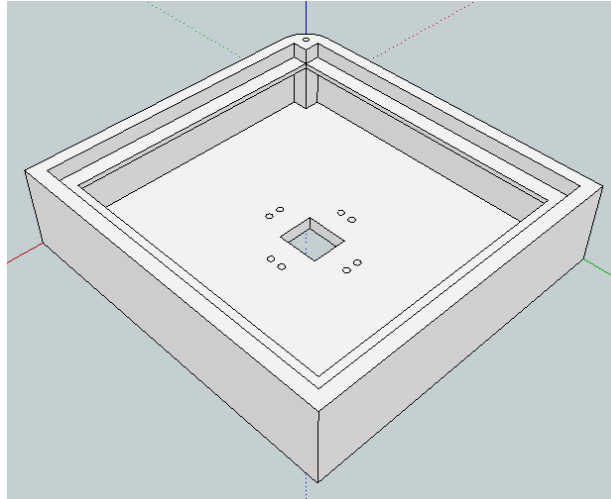


Fig. 20 Modelo de la pieza 2.12

- **Piso 2: pieza extra**

(Fig.21) Hace las veces de pulsador. La finalidad de esta pieza es pulsar el “pulsador real” eléctrico oculto bajo ella y tapar los LEDs que le rodean.

Se imprimen 6, una por cada casilla. Su tamaño es de 4x4x1.4 cm

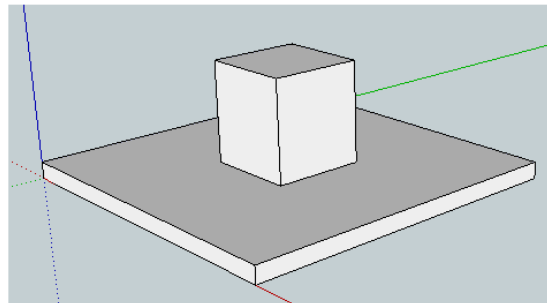


Fig. 21 Modelo de la pieza “seta”

- Piso 3

(Fig.22, 23 y 24) Las piezas de este piso muestran diferencias más significativas entre ellas que las anteriores. Hay dos tipos del modelo 3.11 y del 3.2, atendiendo a si van a incorporar algún elemento externo. La 3.11 modificada será donde posteriormente se inserten los interruptores de On/Off y cambios de modo. La 3.2 modificada incluirá la carcasa portapilas.

En este caso se imprime una de cada modelo, menos la 3.12 que sí se duplica. El tamaño de todas ellas (salvo los extras) es de 10.5x 9.9x3.4cm.

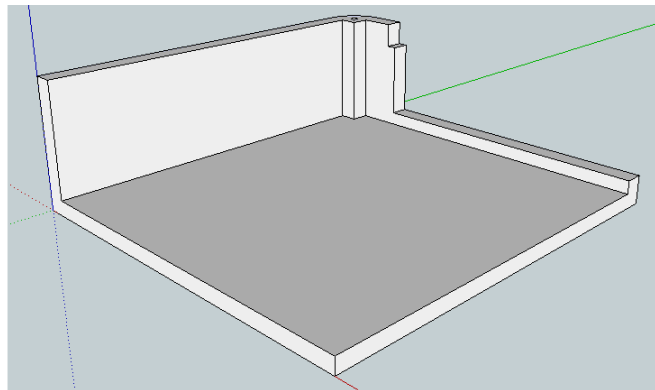
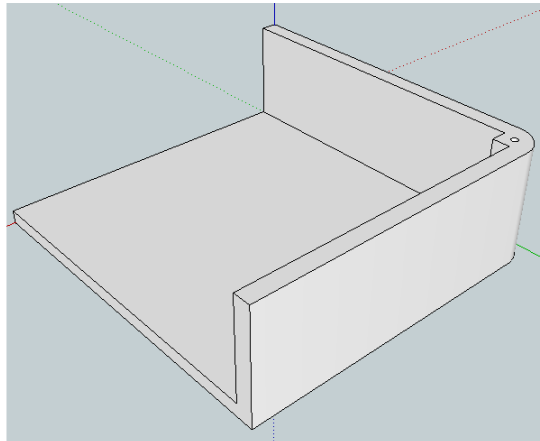


Fig. 22 Modelo de las piezas 3.11 (arriba) y 3.11-modificada (abajo)

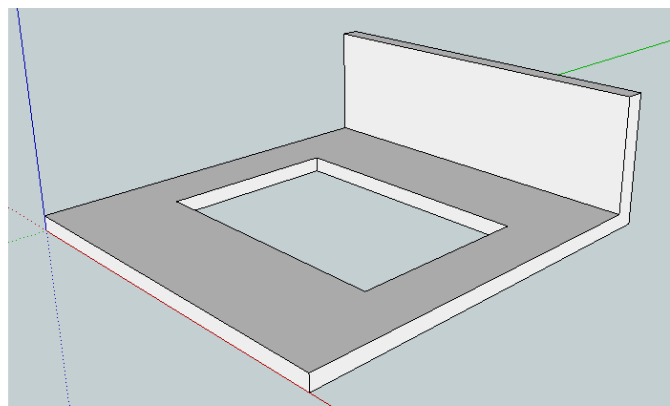
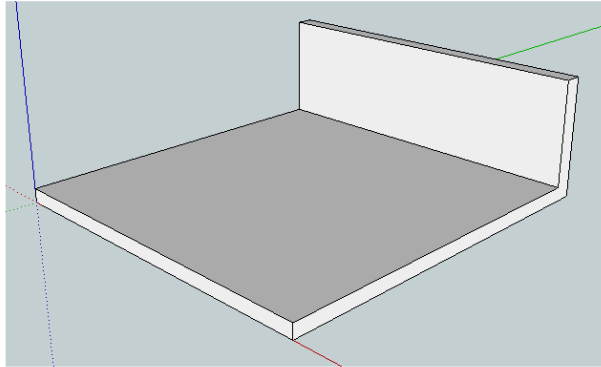


Fig. 23 Modelo de la pieza 3.2 (arriba) y 3.2-modificada (abajo)

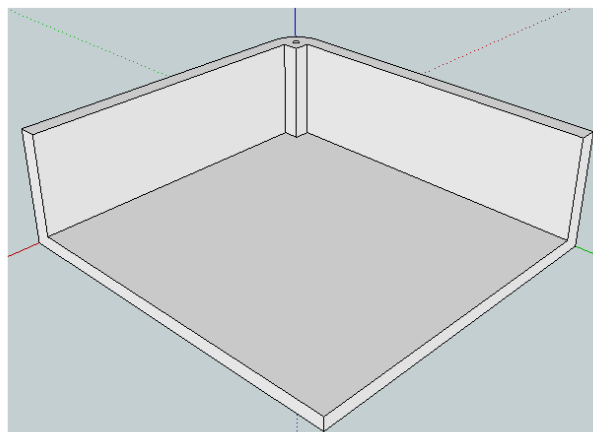


Fig. 24. Modelo de la pieza 3.12

- **Piso 3: piezas extra**

(Fig.25) Las dos siguientes piezas forman parte de la cajetilla de la 3.11 modificada.

Se imprime una de cada. Siendo su tamaño de 8.5x2.75x2.5 cm y de 8.6x2.65x0.5 cm respectivamente.

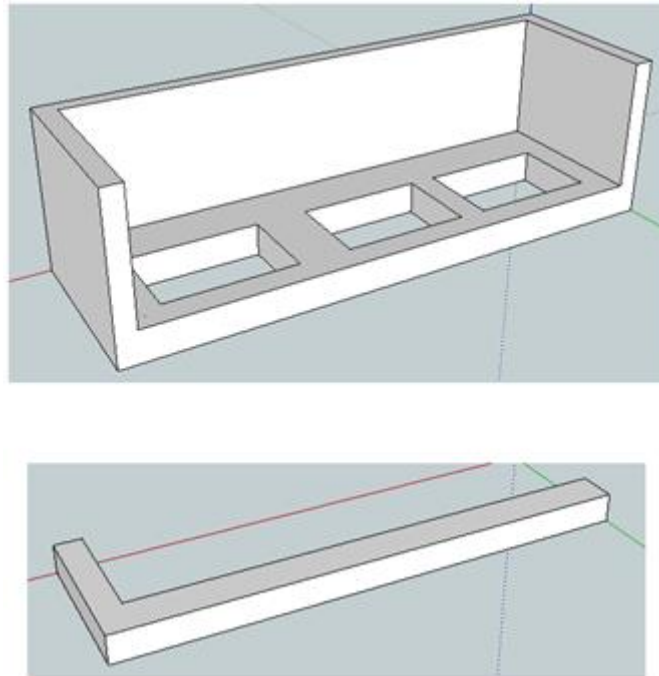


Fig. 25 Modelo de los extras de la pieza 3.11 para el cajetín de los interruptores (interfaz de uso por el profesor)

2.2.2 Bloque 1. Interfaz con el usuario: botonera y LEDs

La botonera ocupa toda la superficie del mando. Está organizada en 2 filas y 3 columnas siguiendo los colores pedidos por el colegio, de manera que estuvieran colocados 2 a 2 junto a sus respectivos complementarios tal y como se muestra en la figura 26.



Fig. 26 Idea general del aspecto del mando

Para detallar la interfaz, vamos a dividirla en dos partes: la que está pensada para ser usada por los niños y la que será utilizada por los profesores.

2.2.2.1 Interfaz de uso por el alumno

Se entiende por interfaz del alumnado aquellos elementos del mando directamente relacionados con la acción del juego, es decir, aquellos que se utilizan durante los propios MDJ.

En concreto en este sub-apartado se tratan los pulsadores y los Jacks (que actuarán como adaptador para pulsadores externos). Cada pulsador se iluminará o no con un conjunto de LEDs en función del MDJ que esté en curso.

Pulsadores

Los pulsadores son el elemento principal del mando y como tal se diseñaron siguiendo los principios del Diseño Para Todos. Así, estos deben ser fáciles de usar, accesibles, intuitivos y deben presentar la información de manera que sea fácil de percibir por el usuario, al tiempo que su pulsación suponga bajo esfuerzo físico ni destrezas especialmente finas. Esto será posible mediante los colores y la iluminación, , así como por su diseño físico, respectivamente.

Al ser tan precisas las especificaciones dadas por el colegio, desde el principio se pensó en diseñar los pulsadores de cero, ya que las soluciones comerciales no se ajustaban al propósito final.

Alternativas de diseño

La primera opción, sugerida por el personal del centro, fue que cada pulsador se iluminara por completo. Para ello pensamos en una pieza con forma de seta impresa en plástico transparente que, coloreada, dejara pasar toda la luz. . No obstante al no encontrar filamento del plástico apropiado para imprimir en transparente, se desechó dicha idea.

Diseño final

La solución propuesta y que quedó en el diseño final, fue reducir la pieza, colorearla y adherirla a una plancha de otro plástico que sí fuera transparente. De este modo la luz, al iluminarse el pulsador, rodea la pieza de color móvil que supone el “falso pulsador”, el cual está situado sobre el pulsador eléctrico. La plancha de plástico transparente finalmente utilizada fue de Polipropileno 5 (Fig.27).

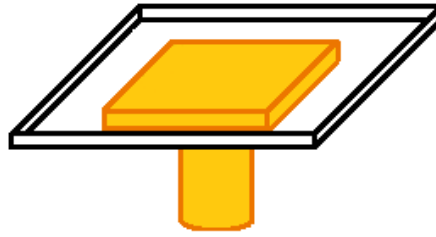


Fig. 27 Conjunto "seta" + plancha transparente

Se optó por un diseño medido exactamente para que en reposo, el muelle del pulsador real estuviera mínimamente pulsado, suficiente como para que no cierre el sistema, pero justo para que los niños puedan accionarlos con un mínimo contacto, y tal que una vez comprimido no llegara a tocar los LEDs bajo él. Esto entronca con el principio del Diseño para Todos del bajo esfuerzo físico para usarlo. Además, tiene una bandeja interna que no dejará que el pulsador baje más de lo que luego pueda recuperar o se hunda por uno de los lados, siguiendo el principio de tolerancia a errores del mismo paradigma. El detalle de dicho diseño está incluido en la figura 28:

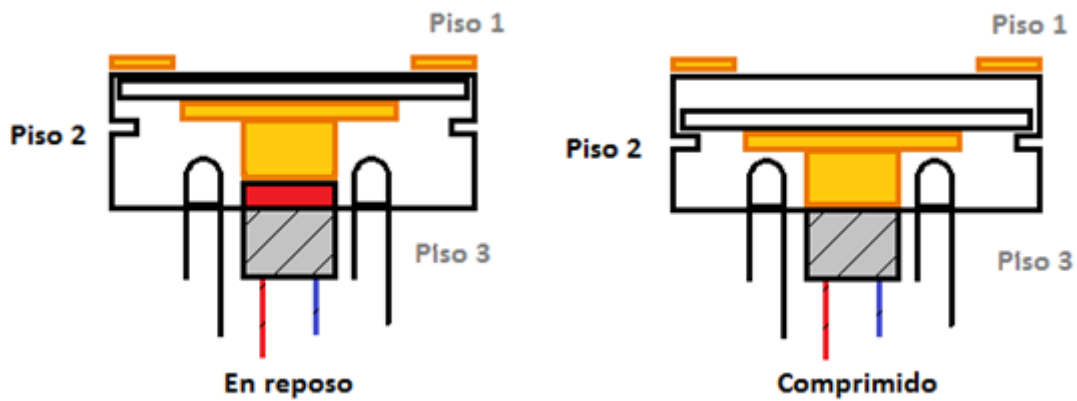


Fig. 28 Estructura interna de cada pulsador

Un marco colocado encima de cada pulsador, hará de tope para que el conjunto plancha-"seta" no salga despedido y además cumplirá el requisito de que estén hundidos respecto al nivel superior del mando.

Con esta opción, la información sobre el color del pulsador se consigue coloreando el marco y el "falso pulsador" del color correspondiente (Fig.29 y Fig.30).

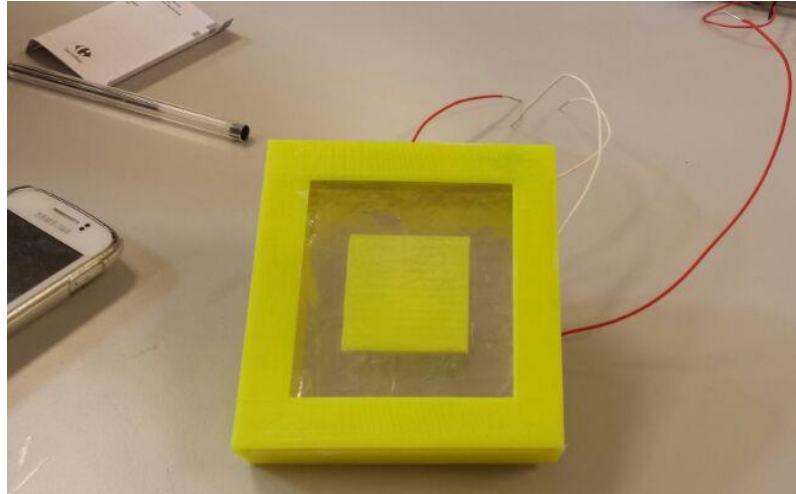


Fig. 29 Pulsador amarillo

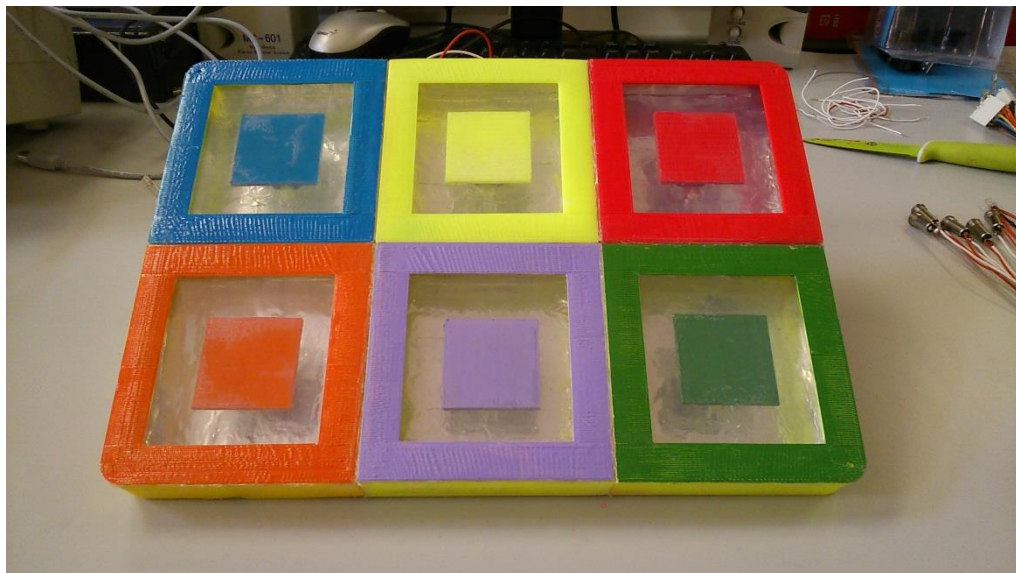


Fig. 30 Vista frontal del primer piso

LEDs

La iluminación se realiza por requisito del colegio con 4 LEDs blancos. Conectados en paralelo entre ellos, se consigue que de cada pulsador sólo salgan dos derivaciones al circuito (que serán 4 totales junto a las dos propias de cada pulsador eléctrico real) (Fig.31 y Fig.32)

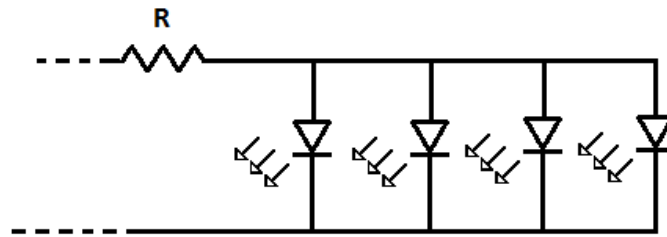


Fig. 31 Paralelo de los 4 LEDs

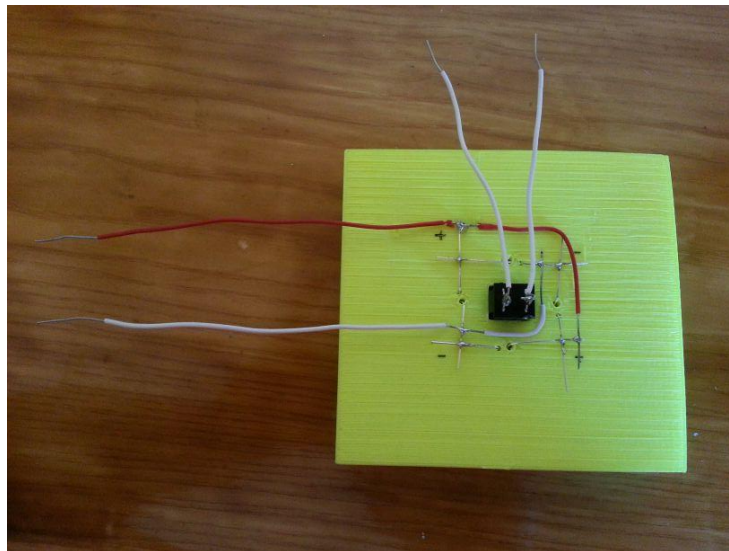


Fig. 32 Cableado inferior de cada pulsador. Hacia la izquierda: cables de los LEDs. Arriba, cables del pulsador eléctrico.

La resistencia de polarización está calculada para el caso de intensidad máxima de un LED asegurando la clara percepción de la luz incluso en espacios iluminados.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{4,5V}{0,03A} = 150\Omega$$

Puesto que la corriente total se multiplicará por 4, esta resistencia será finalmente dividida entre 4 también para contrarrestar el incremento. Siendo finalmente su valor comercial de 39Ω.

Cada LED tiene su emplazamiento, marcado por 2 orificios, rodeando al pulsador “real”, que está ubicado de manera que en su posición más baja no choque con ellos. Además están situados de manera que no sean visibles desde fuera, estando tapados por la pieza central del pulsador y ligeramente inclinados para que el ángulo de emisión abarque el máximo posible sin ser viñeteado totalmente por la pieza central.

Además para mejorar la luminosidad del sistema, se forra el interior de cada pulsador completo y el reverso de la pieza central con papel de aluminio, de manera que refleje la luz proporcionada por los LEDs (Fig.33).

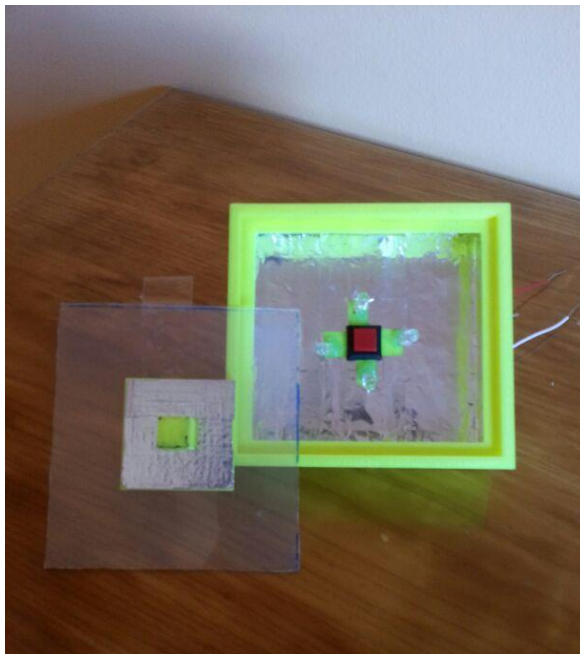


Fig. 33 Vista del interior de los pulsadores

‘Jacks’

Apoyándonos en las máximas del diseño para todos de Igualdad de Uso y de Flexibilidad, se introduce unos puertos Jack de 3.5mm para que los alumnos que presenten mayores problemas de movilidad también puedan acceder al juego a través de sus pulsadores propios (ver figura 3).

El mando incluirá por tanto 6 entradas Jack que irán conectadas con los pulsadores personales de cada usuario, adaptados a cada uno de ellos para que puedan pulsar de la forma en que les resulte más fácil. Que sean 6 entradas permitirá además que el juego pueda ser multijugador, haciéndose cargo cada alumno de uno de los pulsadores.

Para este fin, se utilizan Jacks hembra aéreos. Conectados en paralelo a los propios pulsadores para realizar la misma función que ellos, los puertos irán acoplados en el tercer piso del mando de manera que se pueda identificar claramente a qué pulsador se refiere cada uno (Fig.34 y 35).



Fig. 34 Jack de los colores azul y naranja en un lateral del mando



Fig. 35 Puerto Jack hembra aéreo

2.2.2.2 Interfaz de uso por el profesor

En este sub-apartado en cambio se describe la interfaz del profesorado, que está específicamente diseñada de manera que sea difícilmente accesible por los alumnos, requerimiento de los propios profesores.

Los elementos del mando destinados al uso por el personal del centro, son el interruptor de acceso a la alimentación, los de modo y el LED del sistema de alarma por batería baja.

Interruptores

En principio el mando estuvo pensado para tener sólo los pulsadores de los alumnos, pero más tarde, al añadir el microcontrolador se hizo necesario añadir los interruptores de On/Off, de MDJ y de MDF. Para que el mando funcione

correctamente deberán estar correctamente pulsados conforme al *Manual de Usuario* que se encuentra en los anexos.

Los 3 interruptores estarán dispuestos en una cajetilla en la esquina superior izquierda, menos accesible para un jugador sentado frente al mando (Fig.36).

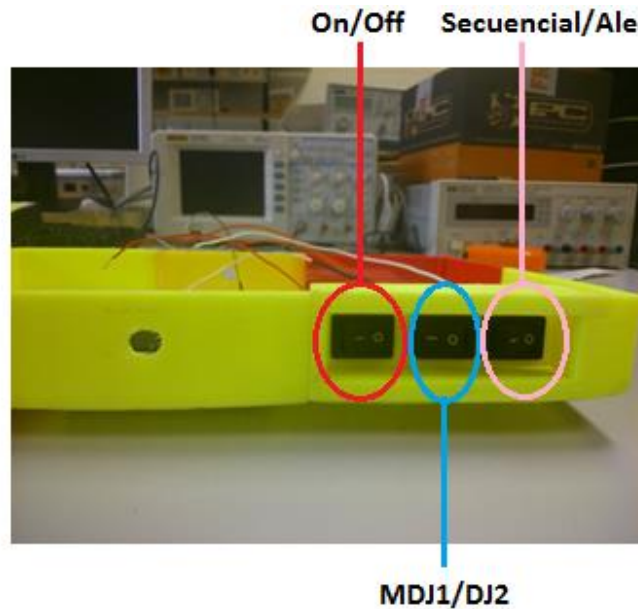


Fig. 36 Cajetilla con los interruptores

Alimentación

Se pensó que las pilas quedaran ocultas bajo el mando en una cajita destinada a tal fin. A ella se accederá desatornillando un pequeño tornillo y deslizando la tapa (Fig.37).



Fig. 37 Carcasa portapilas

Un problema que acarreó esta decisión, fue que el mando, en principio pensado para descansar horizontalmente, se tambalearía, al sobresalir el compartimento de las pilas respecto a la base.

Como solución se proponen unas patas que levanten el mando dejándolo oblicuo con un ángulo de 5.4°. De esta manera además se consigue que los pulsadores sean más accesibles para el niño.

El cálculo del ángulo se hace habiendo comprobado que necesitamos elevarlo 2cm⁶ por el lado de la batería:

$$\operatorname{arccotg}\left(\frac{2}{21}\right) = \alpha \simeq 5.4^\circ$$

Esta solución fue propuesta en el Colegio san Rafael, y validada por los propios profesores, siguiendo la línea de Diseño para Todos en cuanto a contar con los usuarios en todas las fases de diseño. Las patas se diseñaron a posteriori y se imprimieron utilizando la impresora 3D en plástico ABS (Fig.38).

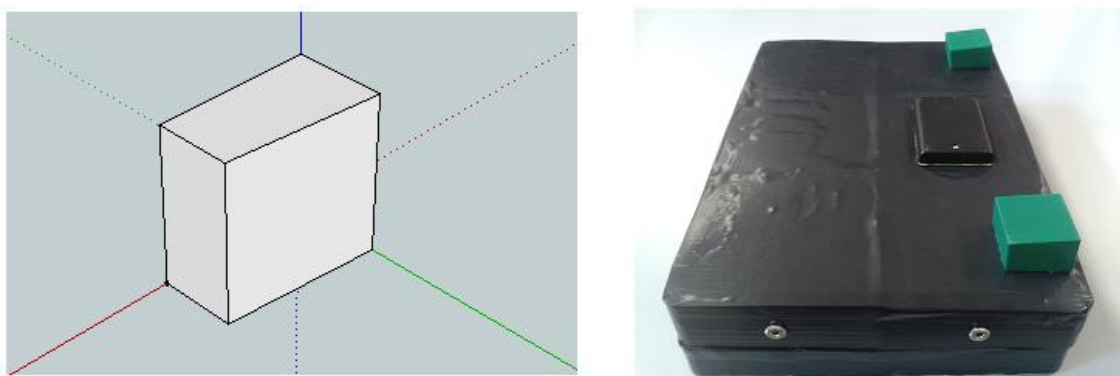


Fig. 38 Modelo de las patas (izquierda) y reverso del mando con ellas colocadas (derecha)

LED de alarma

Como se detallará más en profundidad en el apartado [Circuito de alarma de la batería](#) el diseño incluye un LED de alarma que indicará al profesor el estado de la batería.

Éste estará acoplado en el 3er piso del mando de forma completamente visible para los profesores (Fig.39).

⁶ Calculado a partir de la prueba empírica en el Colegio.



Fig. 39 Vista del piso inferior. Visibles el LED de alarma, uno de los Jack y la cajetilla de los interruptores

2.2.3 Bloque 2. Recepción de señales del interfaz y microcontrolador

El microcontrolador (en adelante μC) es el eje central del diseño electrónico del mando. Será el encargado de recibir las señales desde la interfaz con el usuario (en la que se profundizó en el apartado anterior: [2.2.2 Interfaz con el usuario: botonera y LEDs](#)) y transmitir las al encoder (detallado más adelante en el apartado [2.2.4 Encoder y sistema de transmisión](#)) para su posterior uso según el MDJ activo.

Alternativa de diseño (al microcontrolador)

En un primer momento se planteó la opción de utilizar un solo μC , que se encontraría en la pantalla, la cual tendría todo el poder de decisión. Esta opción sin embargo implicaría el uso de RF (radiofrecuencia) bidireccional.

La RF bidireccional implicaría la posibilidad de enviar y recibir información desde dos conjuntos encoder-emisor-receptor-decoder diferentes modulada en dos frecuencias distintas. De este modo la pantalla enviaría la información desde un supuesto “emisor1” al “receptor1” situado en el mando. La pulsación del usuario sería recogida directamente en un “encoder2” mediante la alternativa de diseño detallada en el apartado [2.2.4.1 Encoder](#) de este mismo capítulo y enviada desde “emisor2” hasta el hipotético “receptor2” emplazado en la pantalla donde se compararía la señal esperada con la transmitida en el μC .

Al disponer el decoder de sólo 4 salidas [1], habría que desarrollar una etapa de lógica que las codificara para conseguir la iluminación interna de los 6 pulsadores independientemente.

Esta posibilidad fue finalmente descartada porque además de ser mucho más complicada de implementar, duplicaba el coste final de esta parte de la electrónica, y

posibilitaría el incremento de la probabilidad de fallo del sistema al tener más componentes.

Alternativa de diseño (del microcontrolador)

Desechada la alternativa anterior, el primer μC que se propuso utilizar fue el 8051 de Intel. La necesidad de usar un programador para traspasar el programa conectando el integrado al ordenador, hizo que fuera descartado.

Aunque se disponía de un programador en el laboratorio, en concreto el programador universal LabTool-48UXP (Fig. 40), en caso de querer hacer futuras reprogramaciones sería necesario trasladar el microcontrolador hasta la Universidad, o disponer de dicho programador, que ronda precios del orden de 300 a 400€ según la distribuidora (Fig.40), lo que repercutiría en el coste final del sistema.



Fig. 40 Programador LabTool-48UXP

Diseño final

El μC elegido fue finalmente el ATMEGA328P-PU del fabricante Atmel, por ser compatible y reemplazable por el de la placa ARDUINO con la que ya se contaba al comenzar el proyecto, lo que permitió además reducir en este gasto.

Se escogió en particular este modelo porque cuenta con una ventaja frente al ATMEGA328-PU del mismo fabricante, y es que cuenta con Bootloader, que hace las veces de programador. De no tenerlo, habría que precargarlo en el μC antes de poder cargar ningún programa.

Además, es un sistema cuyo uso está en pleno apogeo, lo que da una mayor seguridad de poder conseguir un recambio en caso de deterioro, siendo además fácilmente adaptable a las futuras evoluciones que tenga esta tecnología.

Las características principales del ATMEGA328P-PU se especifican en la memoria de proyecto de Javier Ramos Nodal [1]:

A continuación se detalla el pin out del μC (Fig.41):

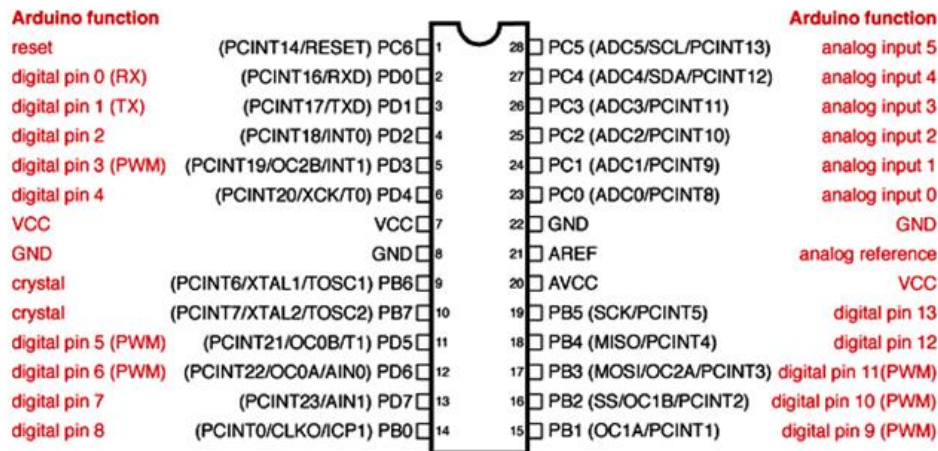


Fig. 41 Pin out del ATMEGA328P - PU

Como se puede observar tiene 14 I/Os digitales, de las cuales TX y RX se utilizan para transferir el programa al μ C vía serie. Por lo tanto se dispone de 12 patillas digitales útiles (D2 – D13), de las que 6 pueden funcionar como salidas PWM de 8 bits siendo 0 el nivel de mínima potencia, y 255 el de máxima.

Además contamos con 6 entradas analógicas (canales ADC: A0 – A5) que llegado el caso de necesidad pueden ser programadas como I/Os digitales continuando con la numeración de las anteriores (A0 -> D14 y sucesivas). Las entradas analógicas se utilizaron para varios fines a lo largo del proyecto en diferentes usos que a continuación se detallan:

Entradas analógicas – usos

- Como ADC: como medio para traducir una señal analógica en una entrada digital que pueda ser procesada como tal por el microcontrolador. Un ejemplo de ello es la A5 utilizada en el circuito de alarma (ver *Circuito de alarma de la batería*).
- Simulando una I/O digital: con el circuito que se muestra a continuación se obtiene un 1 aplicando el máximo valor digital correspondiente a 5V (1024) y el mínimo, tierra, para el 0. Este circuito se utiliza en A0 y A1 con los selectores de los modos (Fig.42).

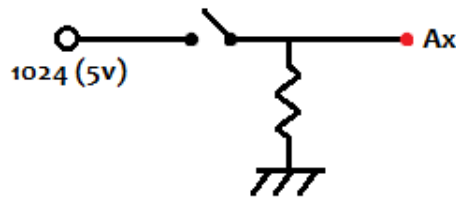


Fig. 42 Circuito con resistencia de push-up

- Como entrada múltiple: adaptando el circuito anterior, se pueden realizar diferentes y sucesivos divisores de tensión para obtener tantas entradas distintas como queramos para un mismo pin analógico [6]. Se trata el nivel analógico obtenido con el divisor mediante software, utilizando el valor digital correspondiente tras pasar por un ADC interno al microcontrolador (ver A5 a A0 en Fig. 41 y Fig.43).

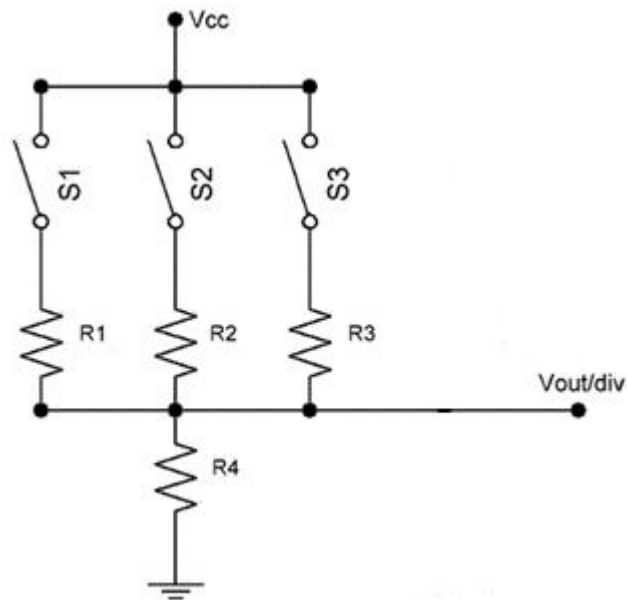


Fig. 43 Divisor de tensión con el entrada al microprocesador

En la figura 43, Vout/div es la entrada analógica a Arduino. Esta es la solución utilizada para los pulsadores del mando en el canal A2.

Transferencia del programa

Hay dos formas de comunicar el programa al μC una vez hecha la programación.

Una es sacar el integrado de la placa de en la que esté montado e insertarlo en el zócalo pertinente de la propia placa ARDUINO cada vez que se quiera reprogramar. Otra es cargarlo externamente utilizando para ello el siguiente montaje [7] (Fig.44):

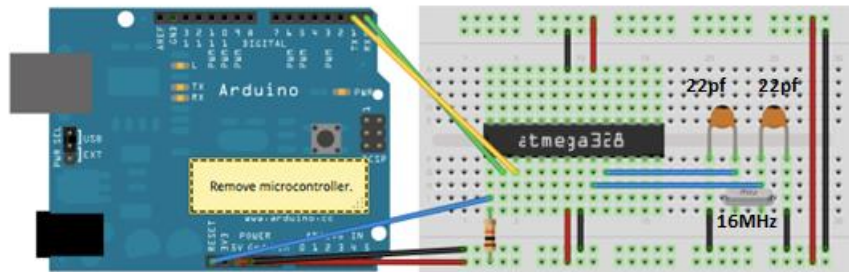


Fig. 44 Montaje para la transmisión del programa del módulo al transmisor

Montaje

La siguiente tabla recoge la información sobre los pines que son utilizados en el microcontrolador del mando y su función:

USO	Nº PINES	NOMBRE	OBSERVACIONES
ÁNODOS	6	D2,D4,D7 (digitales) D3, D5,D6 (PWM)	PWM como digital (0,255)
SELECTOR JUEGO	1	A0	Como digital (0,1024)
SELECTOR FUNCIONAMIENTO	1	A1	Como digital (0,1024)
ENCODER 1 (pulsadores)	3	D8,D12,D13	Digitales
ENCODER 2 (acierto)	1	D9 (PWM)	PWM como digital (0,255)
PULSADORES	1	A2	6 divisores resistivos que dan lugar a diferentes 6 valores digitales tras ADC
ÁNODO (LED alarma)	1	D11 (PWM)	PWM como digital (0,255)

CÁTODOS (LED alarma)	2	A3, A4	Como D17 y D18 respectivamente
NIVEL BATERÍA	1	A5	ADC

Tabla. 2. Uso de los pines del microcontrolador

Los hitos de la columna *Uso* más relevantes se describen a continuación:

Ánodos: cada uno de los pines nombrados alimenta los ánodos de los 4 LEDs (conectados entre ellos en paralelo) que conforman la iluminación de cada pulsador.

<u>PIN DE ARDUINO</u>	<u>PULSADOR</u>
D2	Azul
D3	Amarillo
D4	Rojo
D5	Naranja
D6	Violeta
D7	Verde

Tabla 3. Correspondencia de los pines de salida de los ánodos con el color de la casilla que iluminan

Selector de Juego (MDJ): pin a entrada analógica conectada a un interruptor.

- MDJ 1: abierto.
- MDJ 2: cerrado.

Selector de Funcionamiento (MDF): pin a entrada analógica conectada a un interruptor.

- Secuencial: abierto.
- Aleatorio: cerrado.

Encoder 1 y 2: en la tabla (ver *Tabla 1*) queda recogido en 2 filas para poner de manifiesto el uso de 3 entradas para codificar los pulsadores y una para codificar el acierto, esto último necesario en el MDJ 1.

La siguiente tabla detalla la conexión del μ C con los pines del encoder:

<u>(Nº PIN) ENCODER</u>	<u>ARDUINO</u>
(1) S0	D8
(2) S1	D12
(3) S2	D13
(4) S3	D9

Tabla 4. Correspondencia entre los pines encoder-arduino

Pulsadores:

Alternativa de diseño

Otra posible opción para obtener la información de los pulsadores es conectarlos directamente al encoder, sin pasar por el microcontrolador. Esta alternativa se descartó, pues, pese a ser también válida implicaba una circuitería más compleja y pesada. Dicha alternativa se detalla más profundamente en el apartado *Encoder y sistema de transmisión* en este mismo capítulo.

Diseño Final

Finalmente se decidió usar el microprocesador para aligerar la circuitería de la alternativa descartada. Éste será el receptor de la señal de pulsación por un único pin de entrada analógica (el canal A2) en el uso descrito anteriormente como *entrada múltiple*.

El microprocesador del mando será utilizado tanto en el juego 1 como en el 2 utilizando este mismo método.

El circuito sería el siguiente (Fig.45):

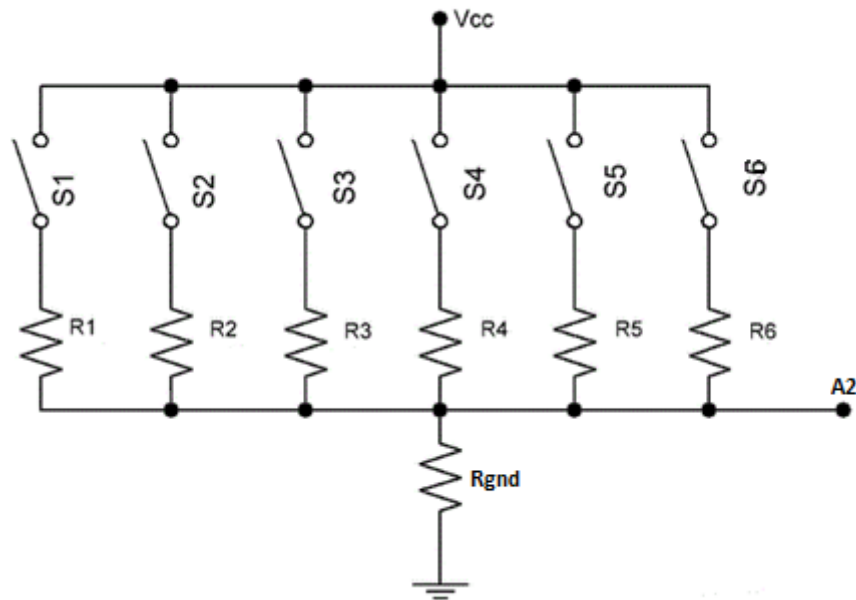


Fig. 45 6 divisores de tensión dan un nivel analógico distinto en función del pulsador activo

Cada uno de los 6 valores analógicos detectados por A2 (dado que solo se espera una pulsación al mismo tiempo) es convertido en 6 niveles digitales tratados por separado en la programación como si fueran entradas independientes.

Los cálculos para las resistencias se detallan a continuación:

$$\frac{V_{cc}}{N + 1} = \frac{V_{bat}}{6 + 1} = 0.14 V_{bat} V$$

Nótese que se ha asumido que la alimentación V_{cc} proviene de V_{bat} , la tensión de la batería directamente. Con esta medida se divide el rango de medida en 7 partes iguales las cuales se activaran en función del pulsador sobre el que actuemos:

Ninguno: 0V – 0.14 Vbat

S1: 0.14 Vbat – 0.28 Vbat

S2: 0.28 Vbat – 0.42 Vbat

S3: 0.42 Vbat – 0.56 Vbat

S4: 0.56 Vbat – 0.7 Vbat

S5: 0.7 Vbat – 0.84 Vbat

S6: 0.84 Vbat – 0.98 Vbat

Partiendo de la fórmula del divisor de tensiones para cada rama:

$$A2 = \frac{R_{GND}}{R_{GND} + R_X} V_{bat}$$

Siendo R_X la resistencia a despejar en cada caso, se asigna un valor de tensión dentro del rango correspondiente ($A2$) y habiendo dado un valor a $R_{GND} = 4.7K$ se obtienen las siguientes resistencias, con el valor comercial más aproximado, y usado, entre paréntesis:

R1 = 18.84k (18k)

R2 = 8.335k (8.2k)

R3 = 4.7k (4.7k)

R4 = 2.88k (2.7k)

R5 = 1.325k (1.5K)

R6 = 522R (510R)

Esta opción, aunque dificulta la programación, aligera la circuitería del mando que queda mucho más simple.

Un problema que presenta esta solución, al tomar valores comerciales, es que había algunos solapamientos entre los intervalos, lo que hacía que a veces se tomara como correcto el pulsador codificado de manera siguiente al solicitado por el juego. Para solucionarlo, se realizó el mapeado con el doble de intervalos y se seleccionaron

sólo los impares, de manera que haya un margen de seguridad de tensiones entre un pulsador y el siguiente.

Las resistencias finalmente incorporadas al circuito se calculan partiendo de lo anterior:

$$\frac{V_{bat}}{12 + 1} \simeq 0.07V_{bat} V$$

Ninguno: 0V – 0.07 Vbat

S7: 0.54 Vbat – 0.61 Vbat (1.8k)

S1: 0.07 Vbat – 0.15 Vbat (39k)

S8: 0.61 Vbat – 0.69 Vbat

S2: 0.15 Vbat – 0.23 Vbat

S9: 0.69 Vbat – 0.77 Vbat (39k)

S3: 0.23 Vbat – 0.31 Vbat (12k)

S10: 0.77 Vbat – 0.85 Vbat

S4: 0.31 Vbat – 0.38 Vbat

S11: 0.85 Vbat – 0.92 Vbat (680)

S5: 0.38 Vbat – 0.46 Vbat (6.8k)

S12: 0.92 Vbat – 1 Vbat

S6: 0.46 Vbat – 0.54 Vbat

2.2.4 Bloque 3. Encoder y sistema de transmisión.

2.2.4.1 Encoder

El encoder se encarga de convertir la actuación sobre los pulsadores del mando en un código binario (una pulsación escribirá un '1' en la entrada del encoder y su ausencia un '0') que se transmite en serie al modulador.

Alternativa de diseño

El integrado MC145027 satisfacía plenamente las necesidades del diseño, y fue la primera opción que se barajó puesto que además ya había sido utilizado con anterioridad en otros proyectos realizados en asignaturas del Grado (como Electrónica Analógica 2) con resultados muy satisfactorios. En el siguiente esquemático aparece el montaje con el encoder y el decoder (Fig.46).

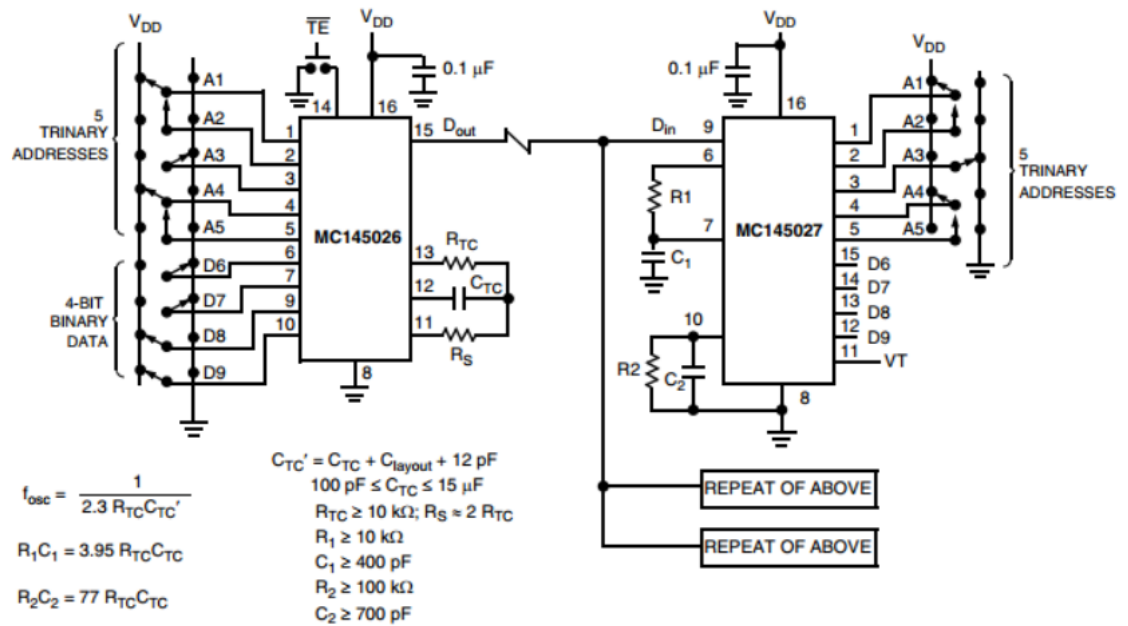


Fig. 46 Esquemático del MC145027 del datasheet del fabricante

En estos integrados se mandaban 9 bits, de los cuales 5 son de dirección (A1 - A5) y 4 de datos (D6 - D9). Para que el decoder reconociera la fuente de emisión, en estos dispositivos era necesario que ambos compartieran los mismos bits de dirección y la misma frecuencia de oscilación.

El motivo de descarte fue que está ya descatalogado y, de haberlo utilizado, habría dado problemas llegado el caso de tener que sustituirlo.

Diseño final

Se ha utilizado el rf600e de RFSolutions (Fig.47).

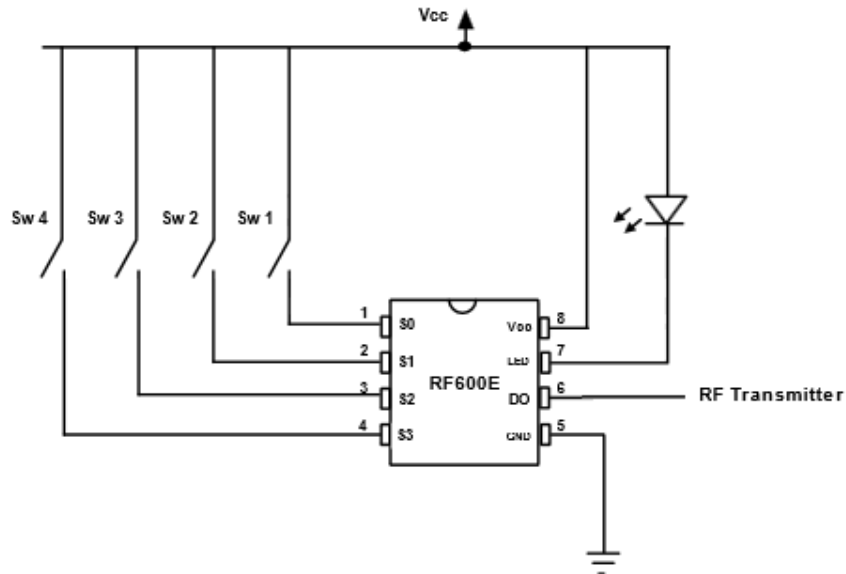


Fig. 47 Esquemático del RF600E

Este dispositivo es de fácil uso y sólo requiere de la inclusión de los pulsadores y el módulo de RF para su aplicación final. Permanece en reposo hasta que cualquiera de los pulsadores se active y aplica un retardo de 6.5ms como mecanismo antirrebote. A mayores combina perfectamente con el emisor de RF, como el propio fabricante resalta en la hoja de características, al incluirlo en el esquemático del ejemplo de aplicación.

Utiliza una codificación Manchester que se basa en una auto-sincronización de la señal de datos y el reloj, de modo que cada tiempo de bit arranca con el estado del dato y tiene una transición en medio de este tiempo al estado complementario. Tras la codificación y la fijación de datos, se comprueba con un chequeo CRC.

Descripción de los pines

Name	Pin Number	Description
S0	1	Switch input 0
S1	2	Switch input 1
S2	3	Switch input 2
S3	4	Switch input 3
Vss	5	Ground reference connection
OP	6	Data output
LED	7	Cathode connection for directly driving LED during transmission
Vcc	8	Positive supply voltage connection

Tabla 5. Descripción de los pines el RF600E

Completando la información recogida en la tabla, la salida **LED** fue de especial utilidad durante las pruebas iniciales de comunicación por RF.

Aplicación en el sistema

Atendiendo a las posibilidades que ofrece el integrado, se observa que se puede mandar datos que contengan más de un 1 en la misma transmisión. Se aprovechará esta cualidad para poder mandar las seis combinaciones requeridas utilizando 3 entradas de las 4 disponibles en el dispositivo (de S0 a S2).

Alternativa de diseño

En la alternativa de diseño al microcontrolador descrita en el apartado [2.2.3 Recepción de señales del interfaz y microcontrolador](#) los pulsadores deben conectarse directamente a las patillas de datos. Para mandar las señales que contienen más de un '1' se deben activar simultáneamente 2 de las entradas del encoder (dos entradas a alimentación de forma simultánea).

En el primer montaje surgió un problema al producirse un cortocircuito permanente entre las tres entradas que usamos del encoder (Fig.48).

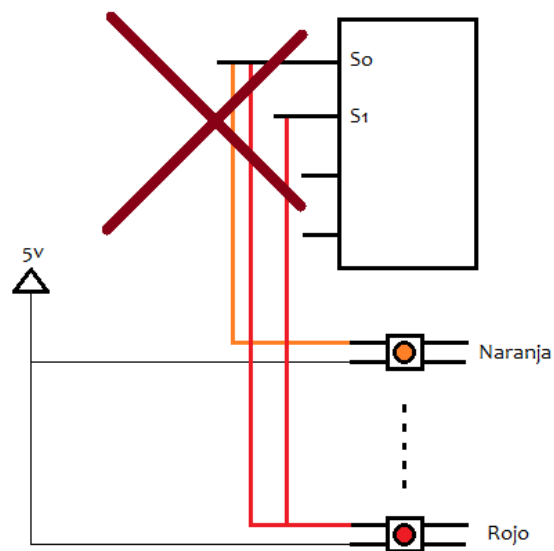


Fig. 48 Conexión errónea de los pulsadores del encoder

La solución fue poner en los pulsadores que mandan una señal con dos '1's un diodo debidamente polarizado entre el pulsador y la entrada de encoder, de manera que el cortocircuito entre las correspondientes entradas y la conexión a alimentación se produzca únicamente cuando actuamos sobre el pulsador (Fig.49).

Usando sólo estas tres entradas ocurriría que siempre que se realizara la pulsación, se enviaría el dato del color pulsado a la pantalla. Sin más información la pantalla no tendría manera de conocer si el usuario ha pulsado bien o mal y encendería el color que se estuviera pulsando y por tanto enviando. Por ello se aprovecha la ventaja de tener un bit de sobra con el que trabajar en el MDJ1.

La cuarta entrada (S3) será la encargada de recoger el bit de acierto, que junto a los 3 de la pulsación sirve para codificar el acierto en el MDJ 1. Este bit de acierto llega desde la patilla D9 desde el μC . Un '1' en S3 implicará que por programa se ha detectado un acierto, y por ende un '0' que no lo ha habido.

2.2.4.2 Transmisor

Utilizaremos el integrado AM-RT4-433 (Fig.50).

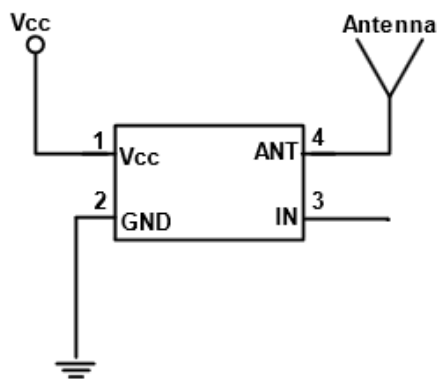


Fig. 50 Esquemático del AM-RT4-433

El AM-RT4-433 utiliza modulación en amplitud (AM) para enviar señales de información de hasta 4kHz de cualquier estándar CMOS o TTL.

Este componente se encarga de modular la señal que le llega vía serie desde el encoder, la cual se enviará mediante generación de una onda electromagnética en espectro de radiofrecuencia, de ahí el uso de elementos capacitivos e inductivos que el módulo incorpora optimizados en el propio dispositivo para la sintonización correcta.

Una de las ventajas que este módulo presenta con respecto a otras opciones es su bajo consumo (de unos 4mA), muy a tener en cuenta en su uso en el mando, ya que es deseable que la batería de la que se alimentará dure lo máximo posible. Además es perfectamente compatible con el encoder seleccionado, como de nuevo el propio fabricante sugiere en la hoja de características.

Antena

La antena mejora el alcance de la transmisión. Aunque no es en principio necesaria para el correcto funcionamiento del sistema, el entramado de cables en el interior del mando así como en la botonera de la pantalla, hicieron imprescindible su uso finalmente a menos en la pantalla.

La longitud (l) por tanto de la antena será de unos 17cm [1].

Descripción de los pines

Name	Pin Number	Description
Vcc	1	Positive supply voltage connection
GND	2	Ground reference connection
ANT	3	Antena
IN	4	Entrada de datos

Tabla 7. Descripción de los pines del AM-RT4-433

Montaje final

El siguiente esquemático recoge la construcción del montaje final de esta parte del proyecto, uniendo el rf600e y el módulo de RF, AM-RT4-433 (Fig.51).

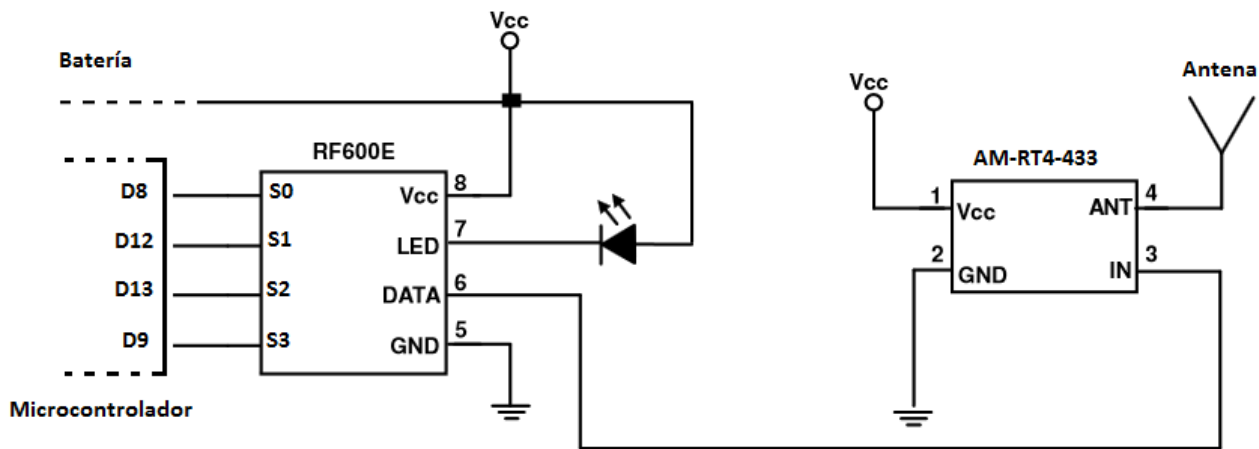


Fig. 51 Esquemático de conexiones entre el microcontrolador, el encoder y el emisor

2.2.5 Bloque 4. Sistema de alimentación

El mando está pensado para ser portátil y por tanto debe estar alimentado con pilas. Ello provoca por lo tanto un requerimiento de reducción de consumo por los componentes.

De entre los componentes del mando, el microprocesador es el que limita la tensión superior de trabajo, siendo ésta de 5.5V. El mínimo, 2V, lo imponen el encoder y el emisor.

Por lo demás, y como se verá, el sistema tiene un consumo de corriente medido de 30mA estático y en el MDJ2, con un máximo de 50mA en el MDJ1.

Alternativas de diseño

Dado el consumo especificado anteriormente, tendríamos para varias horas de juego con cualquier batería.

Las primeras pruebas se hicieron con una pila de petaca de 4.5V. La pila, perfectamente válida en principio, quedó descartada para el diseño final por ser su peso y su tamaño (2x6x6.5 cm) muy superiores al de una batería de 9V (2.6x4.8x1.7 cm) a la que se incorporaría un regulador que la bajara hasta 5V, o al de 3 pilas AA, que conectadas ofrecerían 4.5V.

La opción de la batería de 9V quedó también pronto descartada porque además de tener una capacidad muy pequeña (~300mAh), al poner el regulador de tensión éste dejaría de funcionar unos voltios por encima de los 5 que en circunstancias óptimas mantiene constantes a la salida, con lo que el rango de actuación del microprocesador, que es de 1.8V a 5.5V quedaría muy mermado.

Diseño final

Finalmente se escoge la opción de las pilas. Esta opción es la mejor porque:

- las pilas AA incluso siendo 3 tienen un peso inferior al de la petaca de 4.5V,
- tienen una capacidad muy por encima de la de la batería de 9V (~1800mAh),
- permiten al circuito funcionar en todo su rango de alimentación,
- tienen fácil recambio en el mercado

Al estar tan estandarizado su tamaño nos ha permitido comprar una carcasa portapilas que acoplamos a la base del mando (ver figura 37).

2.2.6 Bloque 5. Circuito de alarma de la batería

Dado que el mando va por pilas y no conectado a la red, lo que supondría una tensión más estable en el tiempo, se implementará un circuito que avise al usuario de la necesidad de cambiarlas cuando estén próximas a agotarse.

El límite inferior de batería considerado suficiente es de 2.25V, algo superior al mínimo de funcionamiento de los componentes. Con esto se consigue que se dé el aviso con tiempo suficiente de cambiar las pilas. El aviso se da con 0.25V de antelación, ya que los primeros componentes del sistema que fallarán son el encoder y el transmisor de RF a los 2V.

Requerimientos:

El circuito debe encender un LED verde mientras que el nivel de la batería sea mayor que 2.5V, que indicará que todo está correcto.

Cuando la tensión descienda por debajo de 2.5V significará que las pilas están acabándose y por lo tanto que es necesario cambiarlas. Esto se indicará con un LED rojo.

Alternativas de diseño:

La mayor restricción de este circuito es la alimentación del mando, que no sobrepasa los 4.5V. Las alternativas de diseño que se consideraron fueron:

- Circuito con comparador:

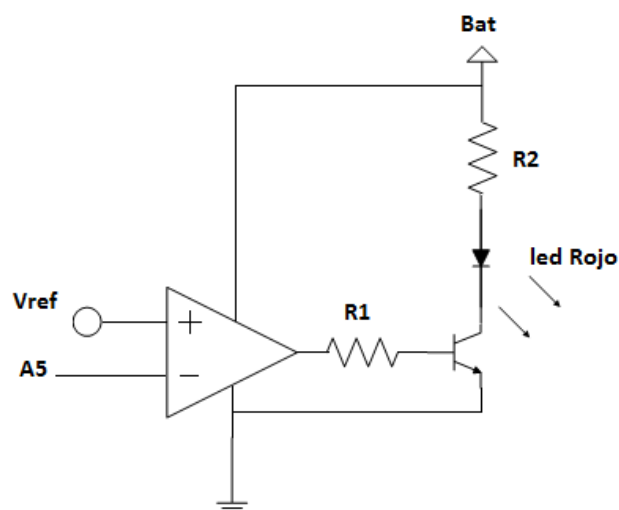


Fig. 52 Circuito con comparador

(Fig.52) Quedó descartada porque la alimentación de un comparador suele ser de +/- 12V o bipolar, circunstancias de las que no se dispone.

El funcionamiento ideal del circuito [5] sería tal que, al ser el nivel de tensión que testeamos (A5) menor que el valor de referencia de la patilla positiva del comparador (V_{ref}), la salida del comparador alimenta la base del transistor que se abriría, permitiendo así circular una corriente que haría encenderse un LED.

- Circuito basado en un diodo zéner:

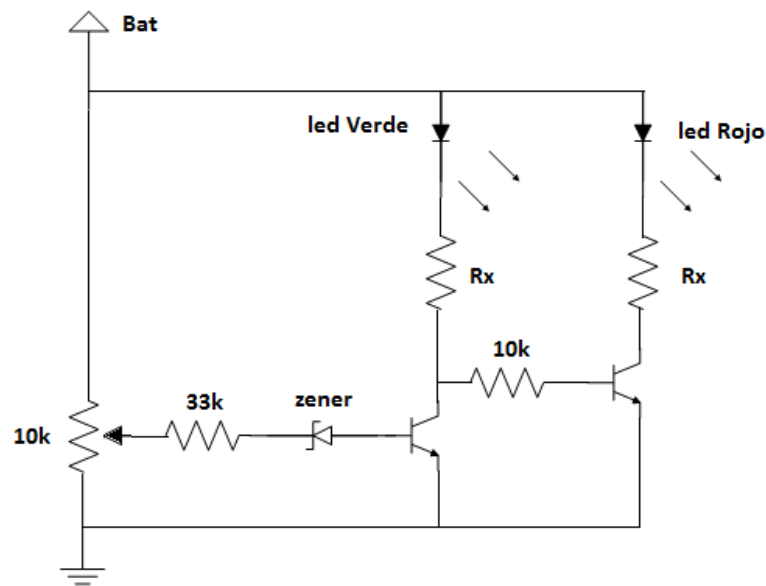


Fig. 53 Circuito basado en un diodo zéner

(Fig.53) El circuito teórico [8] debe encender el LED verde hasta que entre los terminales del diodo zéner, polarizado en inversa, caiga menos tensión que su propia tensión zéner. Está pensado para que esto ocurra a 2.5V utilizando el diodo adecuado.

Cuando baje de la tensión zéner en teoría no hay corriente de base suficiente para polarizar el transistor conectado a él, por lo que queda en corte, y se habilita la malla situada a la derecha. En ésta el LED verde actuaría ya como un diodo normal y la corriente que por él circula polarizaría en su base al segundo transistor.

El problema que surgió al probarlo experimentalmente es que la pequeña corriente que atraviesa el zéner sí es suficiente como para polarizar el primer transistor, lo que provoca que el segundo circuito no llegue nunca a activarse.

Diseño final

Para economizar en componentes, en espacio, y aprovechar que tenemos suficientes patillas en el microprocesador hemos decidido hacer el circuito de forma digital.

Para la alarma se utiliza un LED RGB, innovando en el clásico circuito de dos LEDs verde y rojo, aprovechando para ello un LED sobrante de la pantalla [1] (Fig.54 y Fig.55).



Fig. 54 Imagen de un LED RGB

Los LEDs RGB tienen 4 patillas de las cuales una es común, es este caso el ánodo. Las 3 restantes, representan los cátodos de los tres colores primarios susceptibles a ser emitidos puros o por mezclas entre ellos: rojo, verde y amarillo. Los cátodos se controlan variando la señal PWM obtenida directamente del μC (Fig.56).

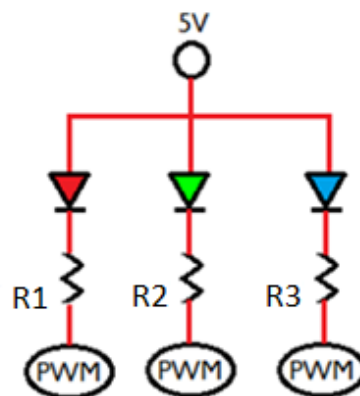


Fig. 55 Esquema interno del RGB con conexión a PWM

En esta aplicación, el LED cambiará de verde a rojo según el estado de la batería mediante programación. Por lo que sólo será necesario utilizar el ánodo y 2 de los 3 cátodos, el rojo y el verde (Fig.56).

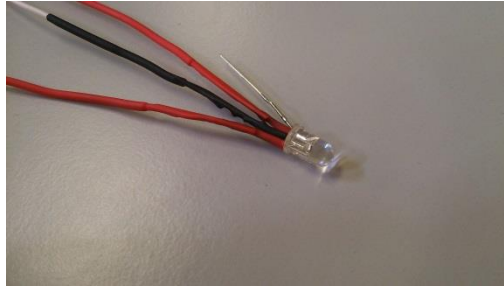


Fig. 56 LED RGB cableado

Se polarizarán ambos con una resistencia de $1k\Omega$ para reducir la intensidad de la luz que emite. Al estar situado en el lateral del mando orientado a la pantalla, la luz incidía directamente en la pantalla, pudiendo distraer la atención de los alumnos.

Las conexiones con el microcontrolador se especifican en la tabla 1.

Capítulo 3. Implementación y pruebas iniciales

3.1 Software del microprocesador

En el siguiente apartado se comentan y detallan mediante el uso de flujogramas las funciones del programa del μ C. El software completo se incluye en el anexo [A.4 Programa del microcontrolador](#).

El programa, desarrollado completamente en el código propio de ARDUINO [9], se compone de funciones menores y del *loop* o bucle principal que se ejecutará continuamente mientras el microcontrolador permanezca alimentado.

3.1.1 Funciones

Las funciones reúnen una secuencia fija que será utilizada luego en el bucle principal. De esta manera se ahorra código durante el *loop* llamando directamente a la función pertinente.

Las funciones que se desarrollan en el programa son (Fig.57, 58, 59, 60 y 61):

- **void bateria_ok () :**



Fig. 57 bateria_ok ()

De los 3 terminales que gobiernan en este caso concreto el LED RGB, esta función activa el ánodo común a los 3 colores (D11) y apaga el cátodo verde (D18) para permitir que pase la corriente a través de él.

- **void bateria_low () :**



Fig. 58 `bateria_low ()`

Esta función, por lo demás idéntica que la anterior, además de activar el ánodo común, pone en LOW el cátodo del color rojo. De esta manera al circular la corriente a través de él, el LED tomará este color.

- **void LED (int led) :**

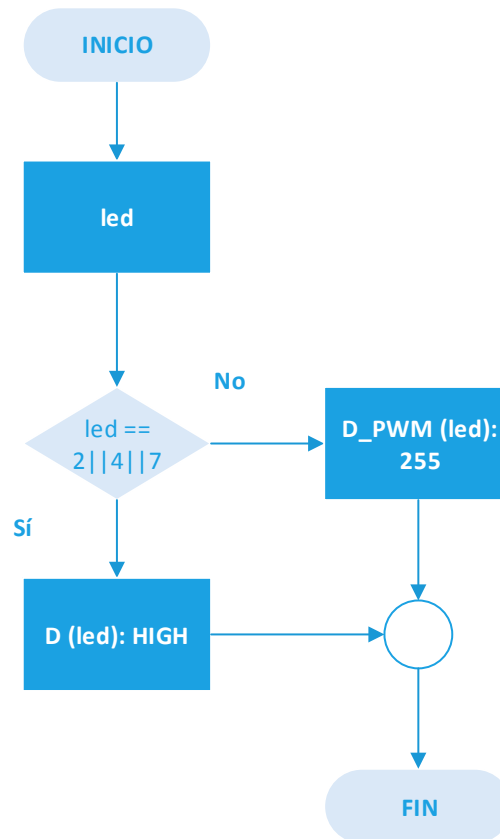


Fig. 59 LED (led)

A la variable interna *LED* le pasamos el número correspondiente al ánodo del LED que queremos que se ilumine. Si éste es 2, 4 o 7 corresponderá a una salida digital (D) que pondremos a HIGH, si no será PWM (D_PWM) que para que cumpla el efecto de '1' lógico pondremos a 255, su máximo nivel.

- **void actuacion ():**

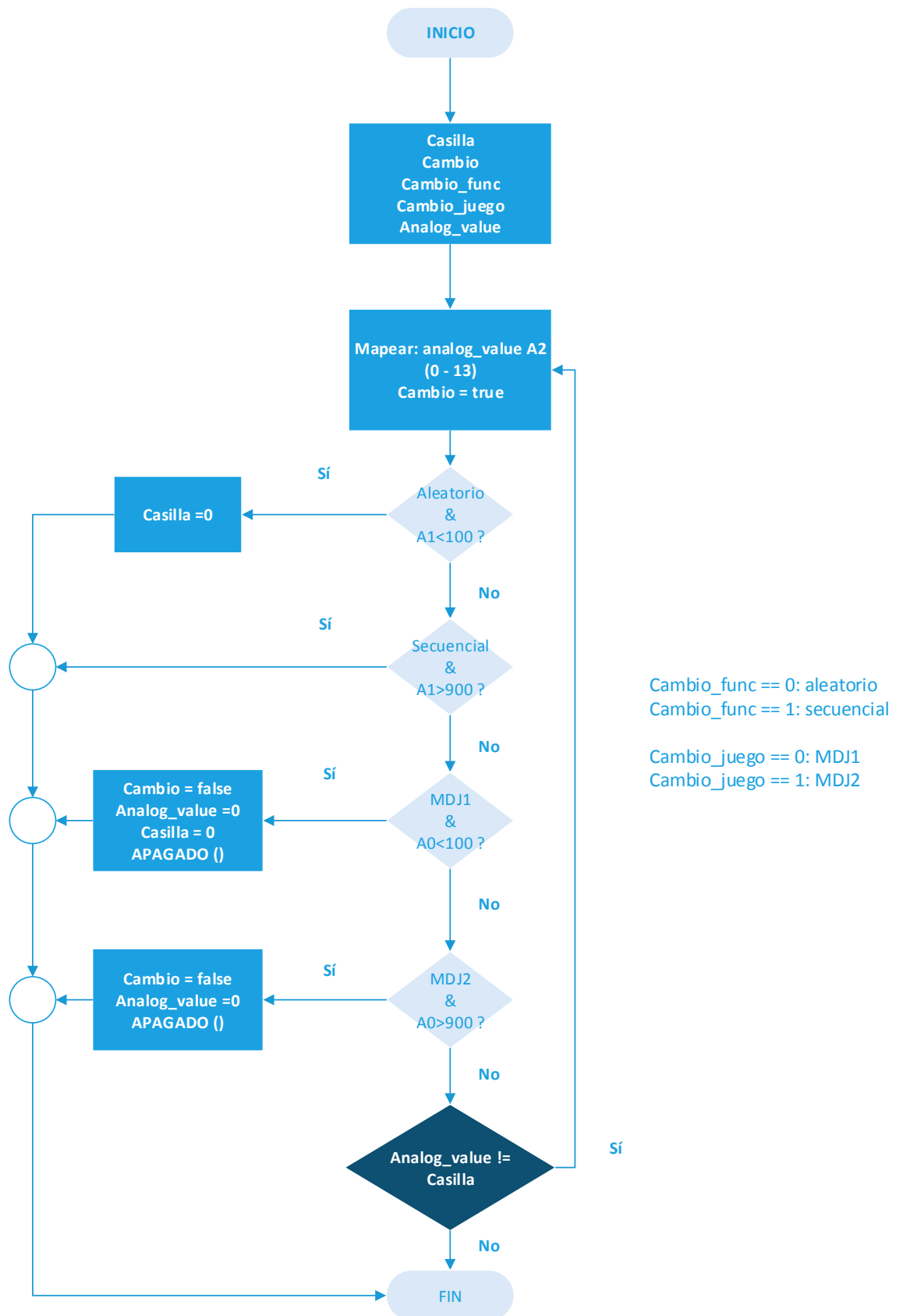


Fig. 60 actuacion ()

El objetivo principal de esta función es dejar la actuación del alumno sobre los pulsadores del mando en un bucle del que no saldrá hasta que haya pulsado bien, es decir, cuando el valor de la casilla pedida *casilla* sea igual al “mapeado” en A2 registrado en *analog_value*.

“Mapear” se refiere a hacer corresponder el valor de tensión analógica en A2 ya convertido en un nivel digital de 0 a 1024, con un número entero entre 0 y 12 (se doblan los niveles de 6 a 12 para evitar solapamientos de tensión, como se detalla en el apartado [2.2.3 Recepción de señales del interfaz y microcontrolador](#)). Se mapea hasta 13 para que se admita hasta el número 12.

La siguiente tabla especifica este mapeo:

<u>RANGO ANALÓGICO</u>	<u>RANGO DIGITAL</u>	<u>NÚMERO</u>
0 – 0.07 Vbat	0 – 79	ninguno
0.07 Vbat – 0.15 Vbat	79 – 157	1
0.15 Vbat – 0.23 Vbat	157 – 236	No utilizado
0.23 Vbat – 0.31 Vbat	236 – 315	3
0.31 Vbat – 0.39 Vbat	315 – 394	No utilizado
0.39 Vbat – 0.46 Vbat	394 – 473	5
0.46 Vbat – 0.54 Vbat	473 – 551	No utilizado
0.54 Vbat – 0.61 Vbat	551 – 630	7
0.61 Vbat – 0.69 Vbat	630 – 709	No utilizado
0.69 Vbat – 0.77 Vbat	709 – 788	9
0.77 Vbat – 0.85 Vbat	788 – 866	No utilizado
0.85 Vbat – 0.92 Vbat	866 – 945	11
0.92 Vbat – Vbat	945 – 1024	No utilizado

Tabla 8. Mapeo del canal A2

Se escogen los números impares para evitar el valor de 0V del nivel “ninguno”.

Aprovechando este bucle, la función reinicia las constantes propias de cada modo (*Cambio_func* y *Cambio_juego*) al pasar de uno a otro si este cambio se produce durante la actuación. Los valores de límite de cambio <100 y >900 (circuito abierto y cortocircuito) se toman de esta forma para asegurar un rango digital válido suficiente.

- **void apagado () :**

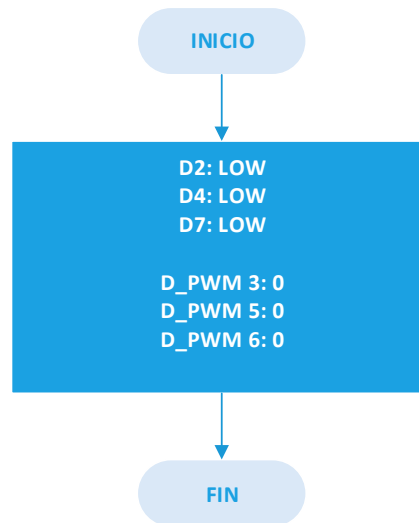


Fig. 61 Apagado ()

Esta función apaga todos los LEDs. Pone a nivel bajo los ánodos regidos por salida digital y a 0 los de PWM.

3.1.2 Bucle principal (loop)

El bucle principal es el que lleva el transcurso del programa, llamando a las funciones definidas anteriormente o ejecutando procesos conforme vaya sucediendo la acción.

Debido a las dimensiones de este flujograma en particular, se despliega en 2 partes que se referencian la una a la otra (Fig.62 y 63).

Loop 1. Batería y MDJ2

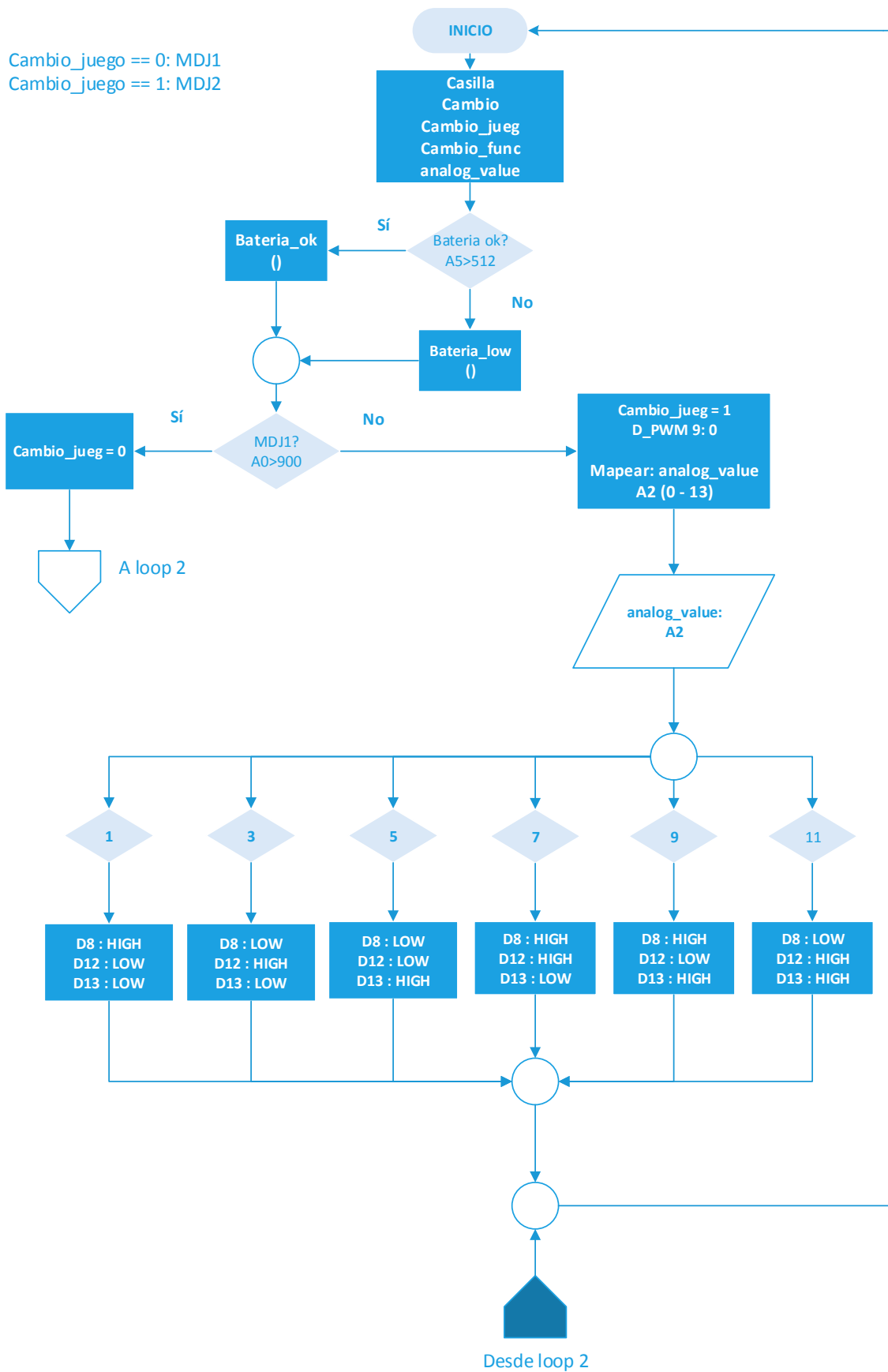


Fig. 62 Loop 1

Lo primero que se hace es comprobar que el nivel de la batería, medido desde A5, esté por encima del mínimo deseable. Este valor digital mínimo (512) es independiente del nivel de la batería, ya que es proporcional al mismo (2.25V, la mitad, para 4.5V totales) de forma que:

$$\frac{V_{bat}}{V_{bat}/2} = \frac{1024}{X} \rightarrow X = 512$$

Dependiendo del nivel detectado en A5, se llama a *bateria_ok ()* o *bateria_low ()*.

Tras esto, en la primera decisión se atiende a lo medido por la entrada A0: si el interruptor al que está conectada (selector de MDJ) está cerrado, estará activado el MDJ1 y de lo contrario el MDJ2.

Escogido el segundo modo de juego, MDJ2, y tras caracterizar las variables correspondientes a este modo, se mapea A2 de 0 a 13. En cada caso posible se envía codificada la información del pulsador que haya sido activado.

Loop 2. MDJ1

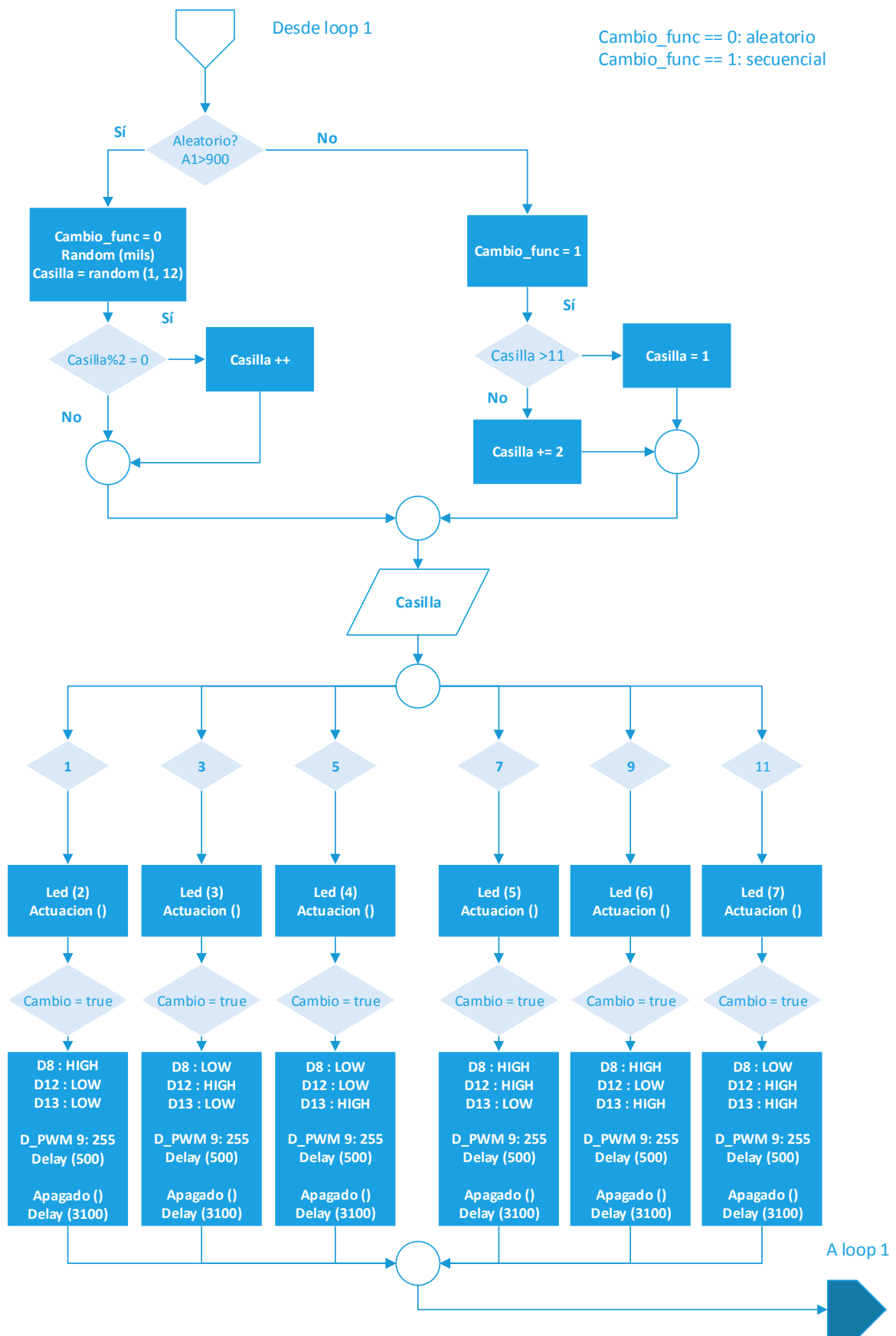


Fig. 63 Loop 2

Si el modo de juego es el primero, MDJ1, se llega a una nueva decisión que indicará el modo de funcionamiento. Según lo leído en el ADC de la entrada A1 (conectada al interruptor de MDF) el juego seguirá un funcionamiento aleatorio si está cerrado, o secuencial si no.

En el MDF aleatorio el número de casilla será el dado por la función propia *Random*, que proporcionará un número de 0 a 12. Para asegurar el rango, de ser éste número par, se le suma 1.

Para MDF secuencial, *casilla* será igual a la acumulada más 2 hasta que supere 11, que volverá a empezar en 1.

En cualquiera de los dos casos el juego se desarrolla con el número de casilla alcanzado según el modo de funcionamiento. Dependientemente de la casilla se encenderá el LED correspondiente llamando a la función *LED ()* y se esperará a que el usuario acierte llamando a *actuación ()*. Una vez haya acertado (*cambio == true*) se envía a la pantalla la información codificada del color pulsado junto al bit de acierto a 1 (D_PWM 9: 255) que en el anterior juego permanecía a 0 (esto permite diferenciar fácilmente el modo de juego en la lógica usada en la pantalla [1]), y se apagan los LEDs.

El último *Delay* hace que el mando aguarde a que la pantalla termine su turno de activación. Este último retardo es de 3 segundos, que es lo que dura el tiempo de turno de activación de la pantalla⁷, más 0.1 segundos estimados por la transmisión de la información.

3.2 Construcción mecánica del sistema

En este apartado se detalla la construcción de la parte mecánica del mando y los problemas derivados de utilizar para ello la impresora 3D.

3.2.1 Material

Se pensó en utilizar plástico por ser éste un material lo bastante resistente para el uso final que el mando tendría. Se utiliza para ello plástico ABS.

El plástico ABS (Poliacrilonitrilo Butadieno Estireno) es un plástico común y resistente, ideal para la impresión de piezas mecánicas. Atendiendo a sus características de impresión, la temperatura del extrusor de la impresora 3D debe ser de unos 220°C a 240°C dependiendo del color y la temperatura de la plataforma donde reposa debe estar alrededor de 110°C, lo que facilita su adhesión. Además del post-

⁷ Requerimiento del centro [1].

procesado conviene señalar que puede ser lijado, taladrado y pintado sin ningún problema.

3.2.2 Impresora 3D (MakerBot – The Replicator)

La impresión se hizo con la impresora The Replicator®, del laboratorio 1.2.C.12 del Grupo de Displays y Aplicaciones Fotónicas (GDAF) del Departamento de Tecnología Electrónica (Fig.64).



Fig. 64 Impresora 3D

La impresión de las piezas requirió ir aprendiendo a solucionar varios problemas según se iban produciendo. A continuación se detallan algunas de estas fuentes de problema:

- la velocidad de impresión: después de varias pruebas la solución de compromiso para todas las piezas fue de 50mm/s, que permite un compromiso entre la definición y la rapidez. Una mala decisión en la velocidad de impresión se traduce en un tiempo mayor de impresión, o bien en una pieza poco consistente.
- el relleno de cada capa: de nuevo tras varias pruebas, se consideró suficiente un 5% de relleno, ya que las piezas no son muy exigentes a este respecto por la robustez que ya por su estructura presentan (Fig.65). La elección de un mayor relleno por capa da más solidez al diseño, pero incrementa notablemente el tiempo de impresión.

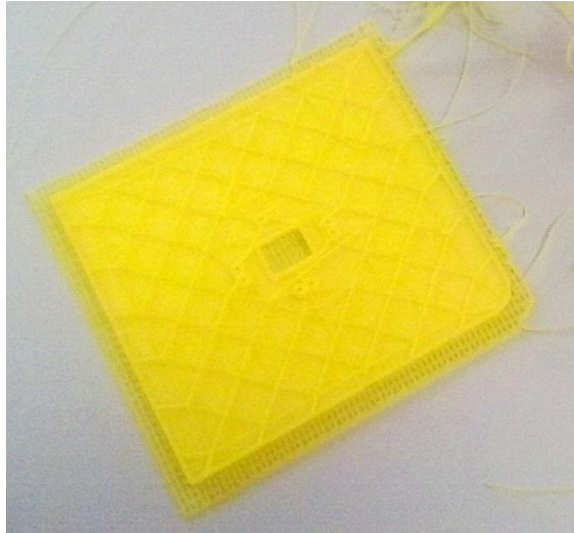


Fig. 65 Detalle de una pieza errónea donde se aprecia el relleno

- el gradiente de temperaturas a lo largo de la base: debido a la colocación del sensor de temperatura, no todos los puntos de la plataforma están a la misma temperatura, ya que éste sólo detecta y corrige la temperatura de su área más cercana con un PID interno.

Esto se corrigió acercando la pieza a la zona de máxima influencia del sensor.

- el tiempo de impresión: pese a que la velocidad a la que finalmente se imprimió permitió acelerar el proceso, cada una de las piezas grandes tardan del orden de 3 a 5 horas. Esto provoca que la base de la pieza, que es lo primero que se finaliza, se abarquille al tener que soportar las tensiones generadas por las diferentes temperaturas que la pieza mantiene en su construcción.

Este último problema no tiene fácil solución. En determinadas piezas se puede conseguir que una parte en concreto quede perfecta si realmente lo necesitamos, colocando ésta de manera que quede paralela al flujo de plástico, pero puede que esta colocación genere en contrapartida deformaciones en otras áreas. Salvo excepciones, en general se corrigió el problema limando o añadiendo masilla a las partes deformadas, y añadiendo laca comercial a la base, lo que mejora su adherencia a la plataforma de la impresora 3D.

- bobinado del filamento: el plástico ABS se vende por bobinas de un color concreto de 1Kg. El problema surge con el agujero por el que debe pasar el eje que soporta las bobinas en la impresora, que es más pequeño en las bobinas del plástico comprado a posteriori.

Por esta razón es necesario pasar todo el filamento de una a otra cuidando que el bobinado sea correcto para que la máquina pueda desenrollarlo bien según lo vaya requiriendo y que no haya un exceso de hilo ya que de otra forma puede sacarlo de la bobina al tirar de él, provocando fallos de impresión (Fig.66).



Fig. 66 Bobinado del ABS

3.2.3 Piezas

En general, las piezas se imprimieron exactamente igual que los modelos generados con Google SketchUp, salvando los fallos por la deformación de algunas partes de la pieza.

Aun así, cerca de terminar con la impresión de las piezas, un problema con la impresora detuvo la marcha normal de impresión: a una probable deformación de la plataforma de aluminio derivada del continuo uso que se le está dando y a fallos por vibraciones, se une una desnivelación de los extrusores, común en este modelo, que hace que al pasar el segundo sobre lo impreso por el primero, éste lo aplaste.

Debido a la proximidad de la fecha de finalización del curso escolar de cara las pruebas con los alumnos del colegio, se optó por finalizar las piezas de dos formas:

- dividiendo cada pieza a la mitad, de modo que el raspado del segundo extrusor sea menor y subiendo además al 10% el relleno por capa (Fig.67).



Fig. 67 Pieza 3.12 seccionada

- utilizando el color rojo en lugar del amarillo, ya que debido a las diferencias de pigmentación, se observó una mejora de la calidad de impresión con respecto a la segunda bobina de color amarillo, que se compró después de acabarse la original (Fig.68).



Fig. 68 Pieza 3.12 en ABS rojo

Las siguientes imágenes muestran ejemplos de algunas de las piezas una vez salvadas todas las trabas en la fabricación de las mismas en diferentes momentos del montaje del mando (Fig.69, 70, 71, 72, 73, 74 y 75):

- Piso 1

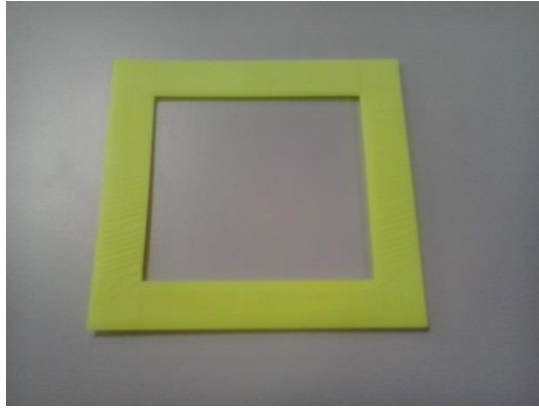


Fig. 69 Pieza 1.2

- Piso 2

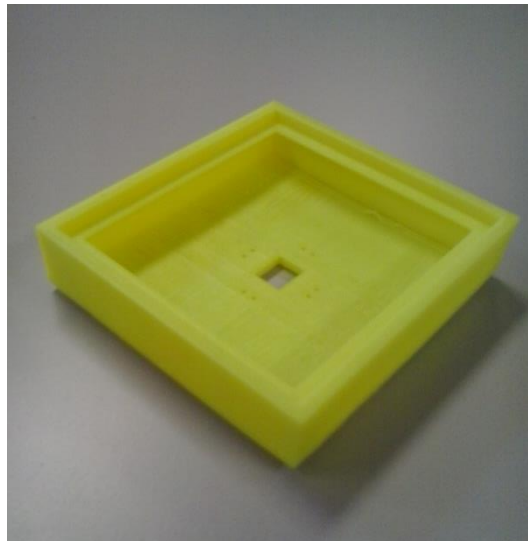


Fig. 70 Pieza 2.2

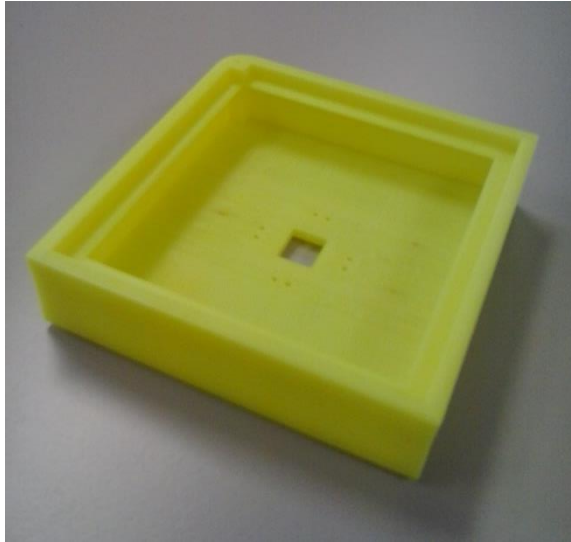


Fig. 71 Pieza 2.12

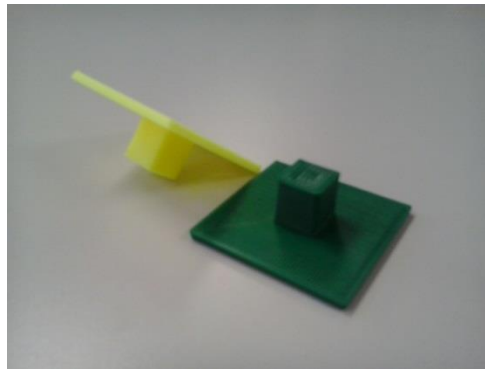


Fig. 72 Pieza seta

- Piso 3

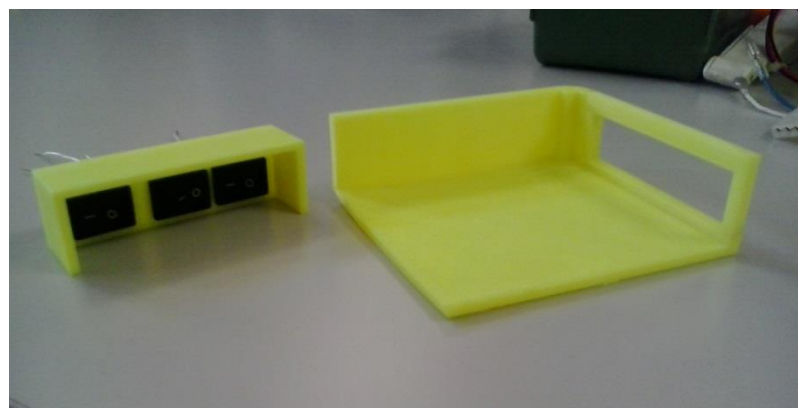


Fig. 73 Pieza 3.11-modificada y sus extras

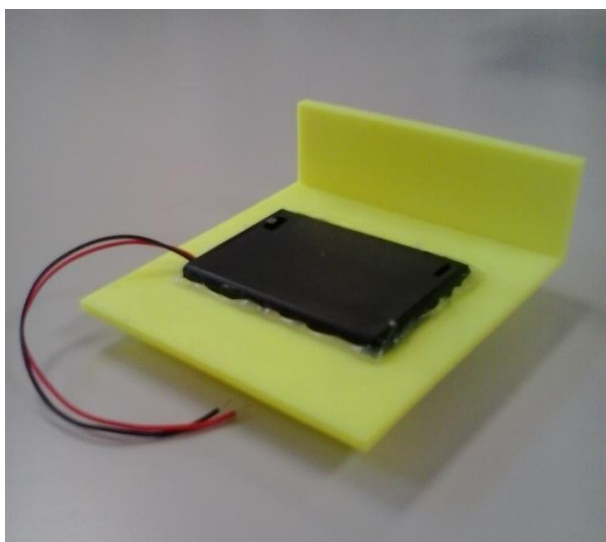


Fig. 74 Pieza 3.2-modificada



Fig. 75 Piso 3 completo incluyendo los extras y los agujeros para Jacks y el LED RGB

3.2.3 Acabados

Dado que no se disponía del filamento en todas las tonalidades necesarias para la consecución de los colores requeridos para los pulsadores del mando, las piezas que los conforman fueron imprimadas y pintadas posteriormente con los colores de las casillas (Fig.76 y 77).

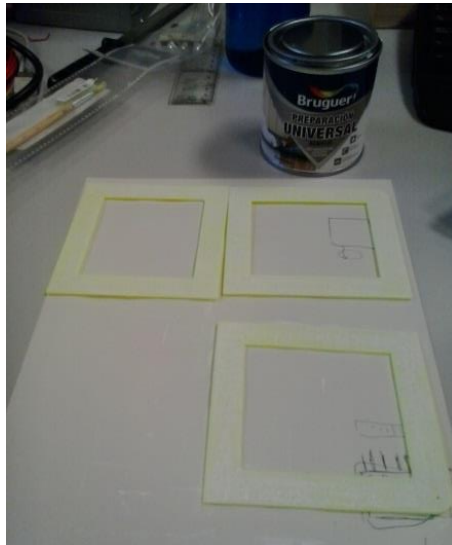


Fig. 76 Piezas del piso 1 imprimadas



Fig. 77 Pulsadores finales azul y naranja

Para homogeneizar los laterales de la carcasa se recurrió a un forro de plástico autoadhesivo en color negro (ver figuras 9 y 10).

3.3 Implementación de la electrónica

Antes de llegar al montaje final que quedará instalado en el tercer piso del mando, la electrónica atravesó varias fases durante las cuales se fue depurando tanto el programa como las conexiones entre componentes.

3.3.1 Placa de pruebas (protoboard)

Las primeras pruebas se hicieron sobre una protoboard.

Se comenzó por el conjunto encoder-emisor-receptor-decoder para garantizar el aprendizaje por parte del decoder del encoder, conectando directamente la salida del último con la entrada de datos del primero. Para ello se realizó el montaje propuesto por el fabricante en el que se conectan los pulsadores directamente al encoder (Fig.78).

El mismo montaje se utilizó para realizar la rutina de aprendizaje del encoder por parte del decoder para el circuito del panel [1].

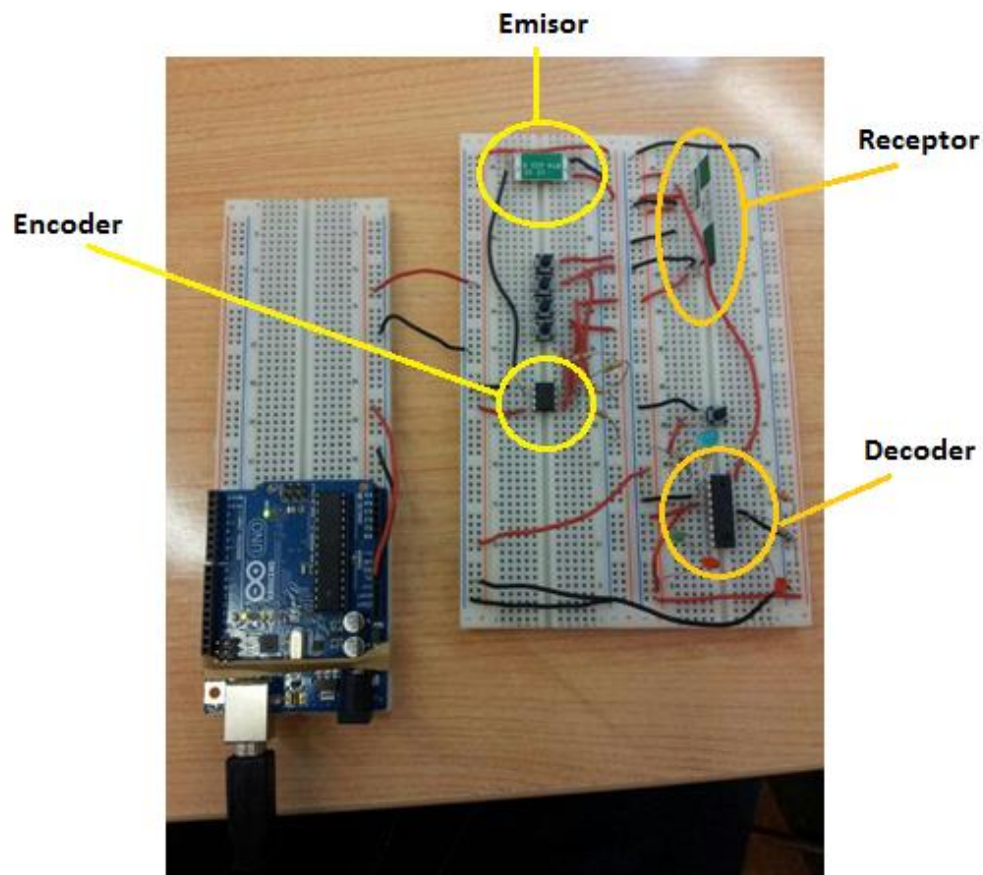


Fig. 78 Montaje del conjunto encoder-emisor- receptor-decoder

Una vez funcionando la RF se montó el μC y, con él, los pulsadores y los LEDs debidamente cableados hasta sus entradas y salidas correspondientes, respectivamente (Fig.79).

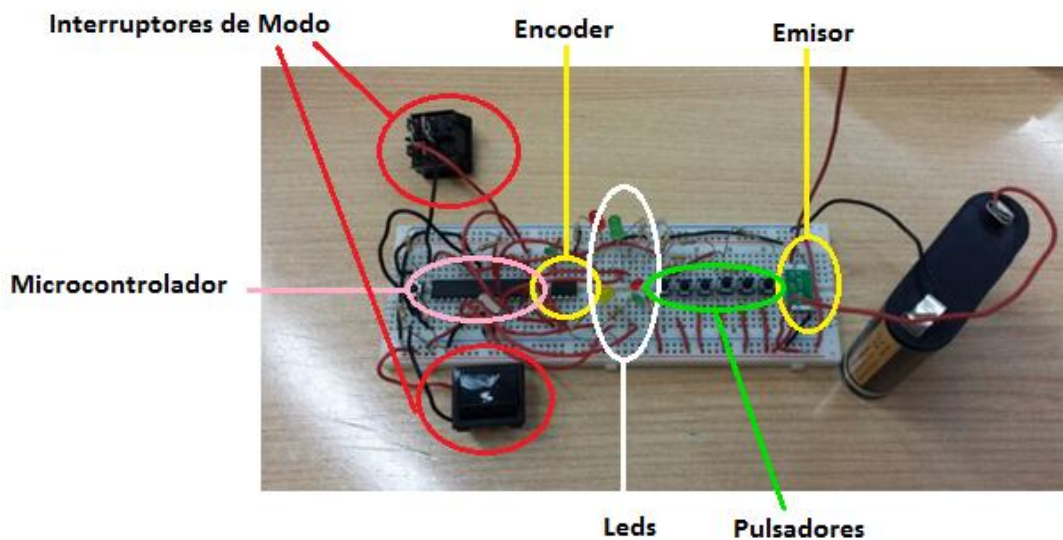


Fig. 79 Montaje del mando sobre protoboard

3.3.2 Placa de puntos

El siguiente paso fue pasar el circuito a placa de puntos.

Se escogió esta opción frente a la PCB (Printed Circuit Board) debido al tiempo ganado a la creación de componentes no estándares en Orcad durante la fase del diseño del lay-out. La robustez que presenta un circuito soldado en placa de puntos es similar a la alternativa, y además no se precisa de un diseño particularmente reducido para esta aplicación, por el tamaño final del mando a realizar.

El primer montaje sobre placa de puntos permitió completar las pruebas de comunicación y alcances con la pantalla. Además se utilizó para terminar de limpiar la programación del microcontrolador de ambos sistemas, pantalla y mando, al estar interrelacionada. La diferencia fundamental con la implementación final es que aún aparecen los pulsadores y LEDs de pruebas usados para comprobar el correcto funcionamiento, y los interruptores de modos ubicados aún sobre la propia placa (Fig.80).

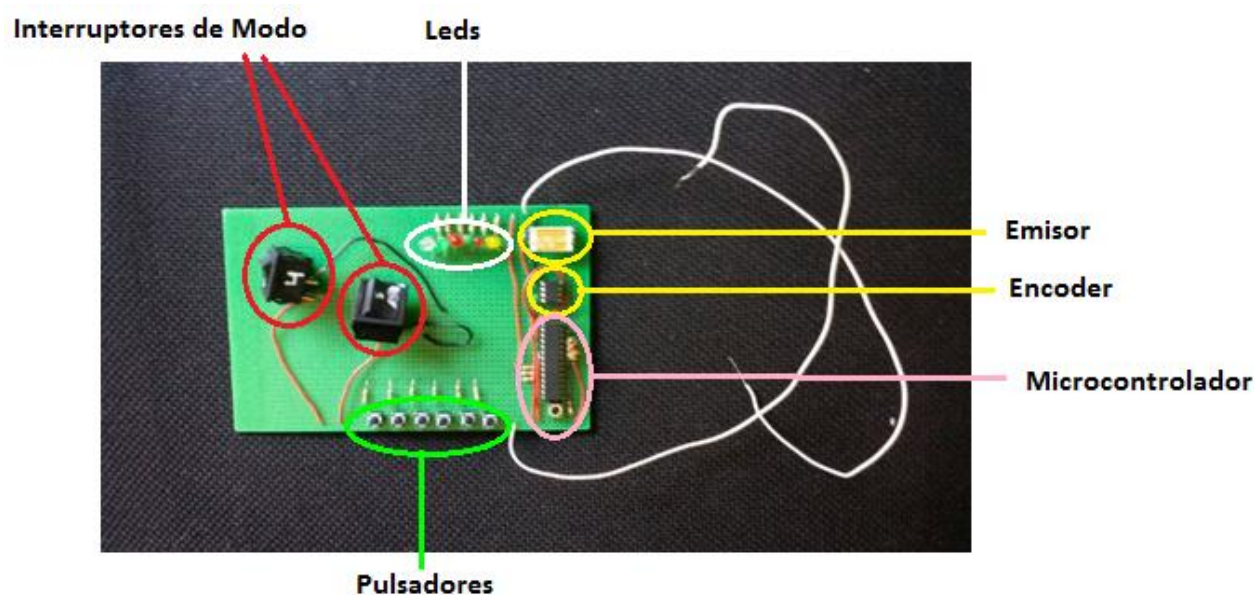


Fig. 80 Primer montaje en placa de pruebas

Una vez asegurado el funcionamiento esperado, se procedió a desoldar los pulsadores, LEDs de prueba e interruptores y a sustituirlos por hileras de conectores hembra a los que irán conectados posteriormente los definitivos, así como la alimentación y tierra. En esta fase también aparecen conectores para las conexiones del LED RGB del circuito de alarma (Fig. 81).

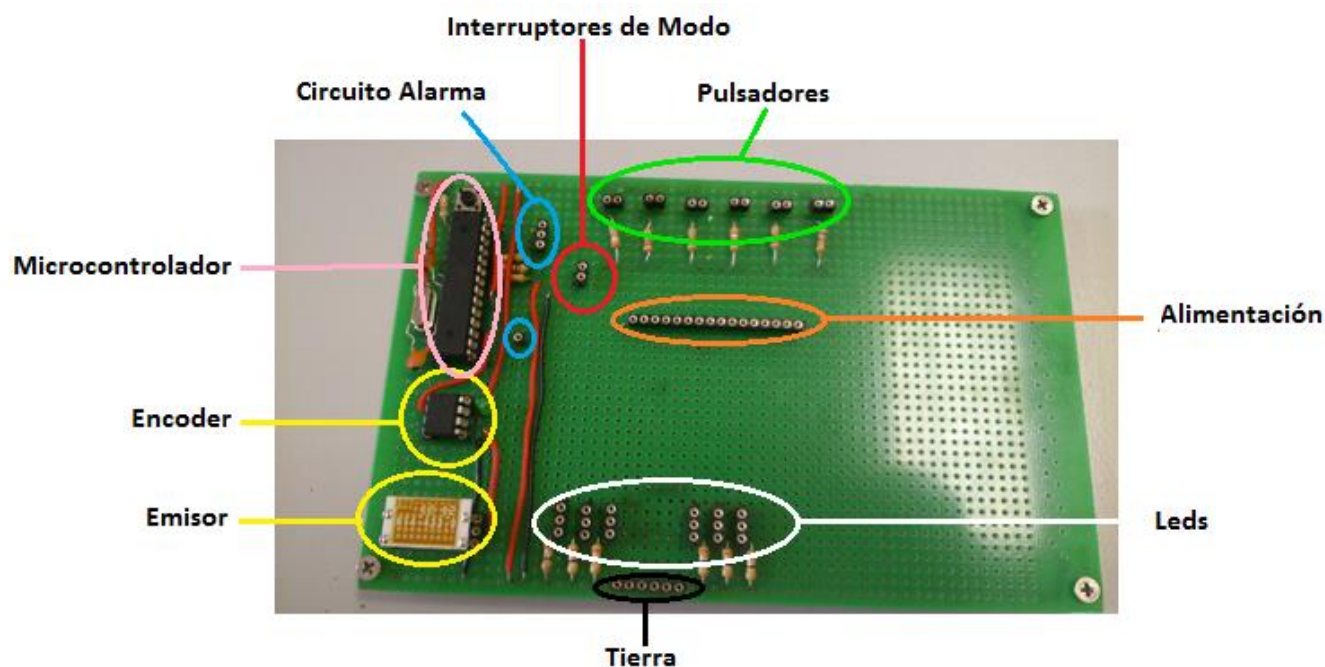


Fig. 81 Montaje con conectores

Además se incorporan etiquetas a cada conector con un número que las identifica y las relaciona directamente con otra etiqueta con el mismo número que penderá del cable a conectar en dicha posición. Esto permitirá y facilitará el arreglo por

parte del personal del centro en caso de que algún cable se desconectara a posteriori. En la siguiente imagen se muestra cómo quedaría situada la placa final así etiquetada en el piso inferior. El montaje de la imagen se realizó sólo para la toma de medidas de consumo en transmisión (Fig.82).



Fig. 82 Placa de puntos rotulada ubicada en la que será su posición final en el piso 3

Por último, para mejorar la robustez del conjunto total y facilitar el acceso al circuito una vez instalado en el piso 3, se añadió un conector a la placa al cual llegan (por un haz de cables flexibles crimpados) mediante la conexión del terminal correspondiente, el total de cables del piso superior (Fig. 83). De esta forma, se consigue asegurar la fiabilidad de las conexiones entre ambos pisos.

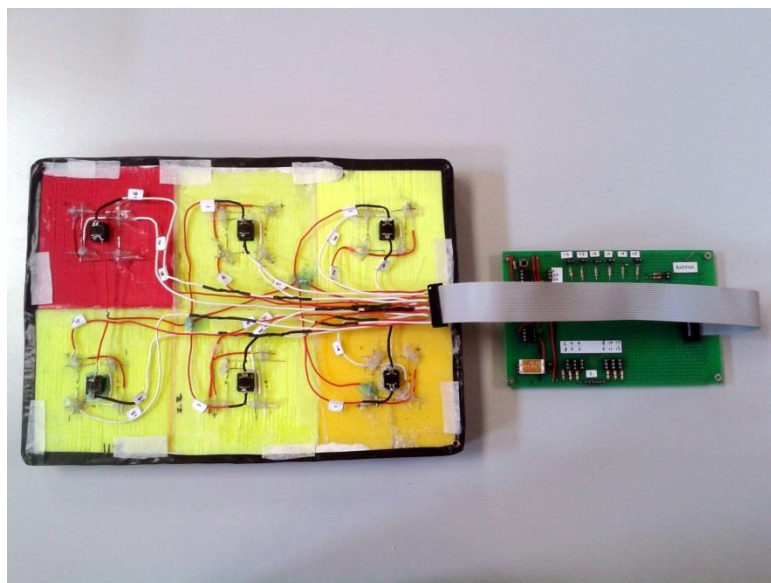


Fig. 83 Conexionado del piso 2 (pulsadores) a la placa mediante un conector

Una vez estuvo perfectamente clara la situación final de la placa, junto con el conector se añadió una conexión más cercana a la situación final de los pines para circuito de alarma al LED RGB y una derivación para facilitar la incorporación de una antena en caso de necesitarla para usos posteriores del sistema. La siguiente imagen (Fig.84) se corresponde a la versión final de la placa de puntos.

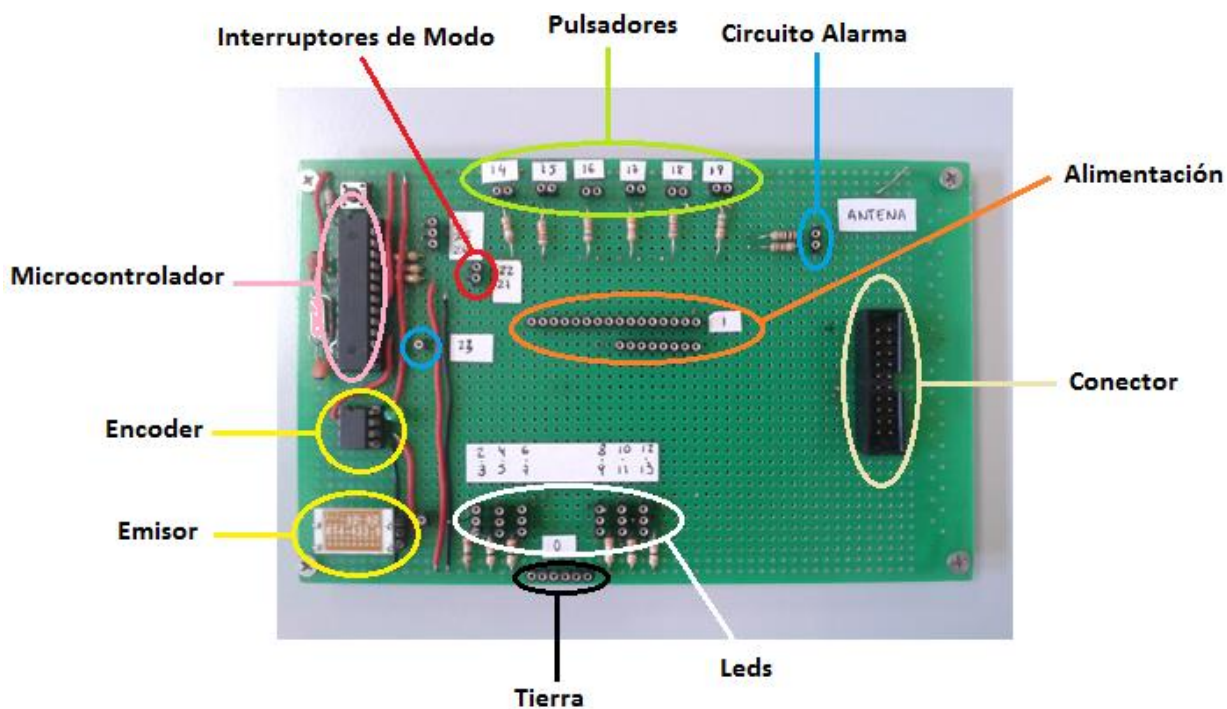


Fig. 84 Montaje final

3.4 Pruebas de comunicación con el panel

Para realizar estas pruebas, se parte de un sistema simplificado con 4 pulsadores en el mando y 4 LEDs en la pantalla. Si la transmisión se realiza correctamente, cada pulsación en el mando encenderá el LED correspondiente en la pantalla además de los LEDs conectados según el esquemático del fabricante, que muestran el envío y la recepción de dato en el encoder y el decoder respectivamente (Fig.85).

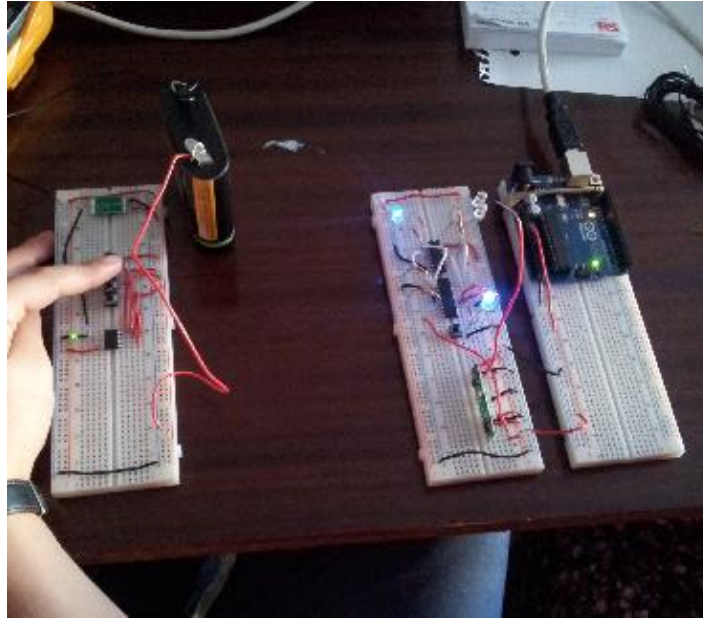


Fig. 85 Montaje en protoboard para la prueba de comunicación

El único problema destacable en el sistema, que por lo demás funcionó correctamente desde el principio, fue el corto alcance que se tenía en ausencia de antenas una vez se completó la construcción de cada parte. Este problema se solventó al colocar antenas en la pantalla y en el mando (finalmente solo es necesario en la pantalla), calculadas como se especifica en el apartado [2.2.4.2 Transmisor](#).

Capítulo 4. Resultados experimentales e implementación final

4.1 Pruebas desarrolladas

4.1.1 Funcionamiento satisfactorio de los modos de juego

En cuanto al funcionamiento se hicieron diferentes y diversas pruebas durante el desarrollo tanto del mando en particular como del sistema completo en general.

4.1.1.1 Funcionamiento parcial del mando

El mando se fue probando conforme se fue construyendo, corrigiendo en todo momento los fallos que aparecían en cada fase de su implementación. Durante las fases de unión de la parte mecánica con la electrónica, estas pruebas se realizaron casi a cada paso asegurando que el sistema seguía funcionando correctamente.

Las pruebas más relevantes se presentan a continuación mediante figuras y enlaces a vídeos que muestran el funcionamiento enlazados a YouTube:

- Se probó individualmente cada pulsador con un pequeño circuito una vez cableado para comprobar que no estaba pulsado antes de ser activado y que el recorrido del conjunto “seta” + plancha de plástico era el adecuado en cualquier punto de la casilla (Fig.86), lo que también contó con el beneplácito del personal del centro.



Fig. 86 Prueba de los pulsadores

Enlace a vídeo (prueba 1): <https://www.youtube.com/watch?v=cLtKBkAAv4c>

- Se comprobó el funcionamiento de los modos de juego tras conectar el piso 2 a los interruptores del piso inferior, siendo también satisfactorio (Fig.87).



Fig. 87 Prueba del piso 2

Enlace a vídeo (prueba 2): <https://www.youtube.com/watch?v=sR1Uec75DCs>

Además estas pruebas permitieron comprobar que la luminosidad del mando es suficiente como para poder jugar con él en una habitación con una iluminación desde tenue hasta iluminada con luz natural, o el nivel de una lámpara eléctrica de uso común.

Las peores situaciones para el uso del mando son: en ausencia total o prácticamente total de luz sobre todo en lo tocante al MDJ2, pues el usuario no podrá ver la información de los colores del mando y en presencia de una luz directa muy potente (por ejemplo el sol directo). Ambos casos se evitarán en el uso final del dispositivo, según nos confirman los profesores del centro.

4.1.1.1 Funcionamiento completo del sistema

El sistema completo fue puesto también varias veces a prueba en el laboratorio antes de considerarlo lo suficientemente preparado como para llevarlo a probar al colegio, en lo que sería el entorno real de aplicación del mismo.

Se probó tanto el MDJ1 como el MDJ2 en sus dos variantes. La siguientes imagen y los enlaces dan muestra de ello durante una de esas pruebas en el laboratorio 1.2.C12 (Fig.88).



Fig. 88 Prueba del MDJ1

En el primer enlace (Lab_mdo_1) se prueba el MDJ1. Se puede apreciar cómo van iluminándose los pulsadores del mando y, cómo al pulsarlos, se ilumina la pantalla reproduciendo el mensaje correspondiente.

Enlace a vídeo (Lab_mdo_1):

<https://www.youtube.com/watch?v=o-boAzJcsa0>

El segundo enlace (Lab_mdo_2) se corresponde con la prueba del MDJ2. Se puede observar cómo la pantalla se ilumina con una secuencia de colores y cómo al reproducirla en el mando, se premia el acierto.

Enlace a vídeo (Lab_mdo_2):

https://www.youtube.com/watch?v=8_YyZw_BOo

4.1.2 Medida de alcances

El alcance de la RF se comprobó para 2, 1 y ninguna antena. De estas tres pruebas sólo dos fueron válidas para nuestro propósito, la de 1 y 2 con un alcance de 8.5m y 14.2m respectivamente.

Dado que no es necesario un alcance tan grande, finalmente se escogió la opción con una antena, que se puso en la pantalla para evitar que el mando (esencialmente utilizado por los alumnos) tuviera los menos accesorios posibles sobresaliendo de su perímetro que pudieran entorpecer su uso por parte de los niños.

Los siguientes links prueban el funcionamiento con 1 y 2 antenas.

En el primer enlace (1 antena) se puede comprobar cómo efectivamente la pantalla, con una antena, sigue respondiendo a la actuación sobre el mando emitiendo el sonido correspondiente al fallo con cada pulsación a ciegas.

Enlace a vídeo (1 antena): <https://www.youtube.com/watch?v=m2qdDkEDjxl>

El segundo vídeo enlazado (2 antenas) da muestra de cómo la pantalla responde a la actuación sobre el mando, encontrándose una mayor distancia que en el caso anterior, usando 2 antenas (en la pantalla y el mando respectivamente).

Enlace a vídeo (2 antenas): <https://www.youtube.com/watch?v=xrgsC5mRgCo>

4.2 Pruebas en entorno real y con usuarios finales

Una vez comprobado su funcionamiento de forma satisfactoria en el laboratorio, se realizó una nueva visita al colegio con objeto de probar el sistema completo con los propios niños in situ.

A pesar de haber obtenido un resultado favorable durante las pruebas previas, la prueba final en el colegio comenzó siendo fallida. Tras realizarse pruebas por parte del personal docente se pudo corregir el fallo, que estaba en la programación de la pantalla. Ésta se había modificado poco antes de la visita al colegio de un tiempo de encendido y apagado de cada casilla 0.5seg a 3seg, que se añadían también al final de la secuencia, no permitiendo responder inmediatamente desde el mando [1].

Se resolvió el problema cambiando el tiempo de espera a medio segundo. Tras solventar este fallo la prueba fue plenamente satisfactoria, alcanzando a ver a uno de los alumnos jugar con el sistema, probando de paso su resistencia y pudiendo visualizar y valorar el aprovechamiento que se va a poder hacer del sistema en el centro (Fig.89).

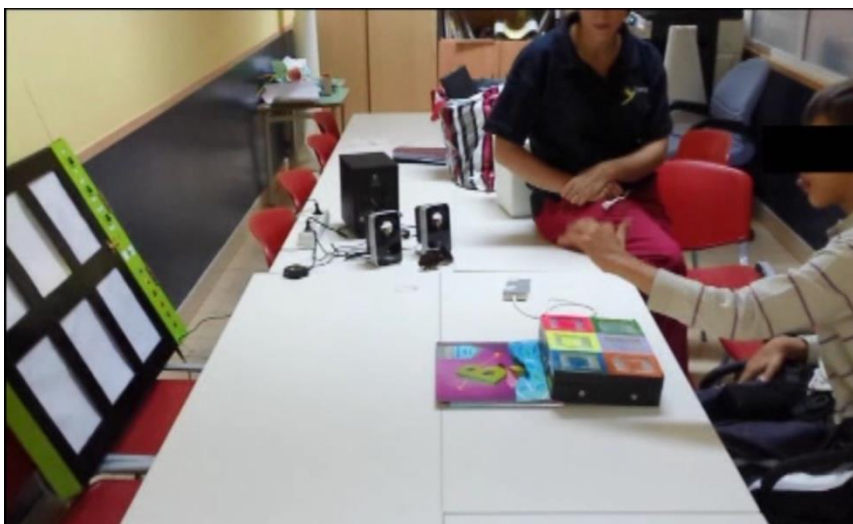


Fig. 89 Prueba en el centro

Los siguientes enlaces corresponden a las grabaciones hechas en el colegio de los modos de juego 1 y 2:

En el siguiente vídeo enlazado (Cole_mdo_1) se puede ver a uno de los alumnos del centro jugando de forma totalmente satisfactoria al MDJ1 con MDF secuencial. Se observa que el alumno es capaz de identificar correctamente el color que debe pulsar mediante la iluminación de un pulsador del mando y comprueba cómo, al pulsarlo, la pantalla reacciona en consecuencia.

Enlace a vídeo (Cole_mdo_1):

<https://www.youtube.com/watch?v=yphbtfgELSM>

El segundo enlace (Cole_mdo_2) muestra al niño jugando al MDJ2 con MDF secuencial, de nuevo satisfactoriamente. Se puede ver cómo el niño, al irse iluminando los colores en la pantalla y tras reproducir esta secuencia en el mando, obtiene de la pantalla el sonido acorde a su actuación⁸.

Enlace a vídeo (Cole_mdo_2):

<https://www.youtube.com/watch?v=GCH4vKCDjaM&feature=youtu.be>

4.3 Presupuesto

La siguiente tabla muestra el coste total del sistema (se resalta de azul la parte correspondiente al mando).

⁸ Por petición del Colegio tras esta prueba, se modificarán de cara a una versión final los sonidos de premio y fallo ajustándolos para que los alumnos aprecien mejor su significado.

Código	Unidades	Descripción	Medición	Precio Unitario	Precio Total
Subproyecto (1) Mando					
Capítulo 1. Materiales y construcción mecánica del mando					
01.01	1	Bobina de plástico ABS Filamento de plástico ABS amarillo de 1.75mm. 1 Kg	Ud.	17,95€	17,95€
01.02	2	Recipiente de PoliPropileno	Ud.	3€	6€
01.03	6	Conector Jack Conector Jack 3,5mm aéreo hembra de 3 polos.	Ud.	0,66€	3,96€
01.04	1	Portapilas Carcasa portapilas para 3 pilas AA cableada y con interruptor	Ud.	1,57€	1,57€
01.05	1	Imprimación universal Selladora universal Bruger 250ml	Ud.	5,65€	5,65€
01.06	4	Esmalte sintético De Tintanlux, 125ml. En varios colores: azul, mora, bermellón y amarillo real	Ud.	4,95€	19,8€
01.07	1	Pegamento Adhesivo sellador T-Rex cristal de 125ml	Ud.	6,95€	6,95€
01.08	1	Papel de aluminio Rollo de papel de aluminio Albal	Ud.	1,92€	1,92€
01.09	4	Tornillos Tornillo avellanado de 4cm, cabeza de estrella.	Ud.	0,16€	0,64€
Total Capítulo 1.1					64,44€
Capítulo 2. Componentes e implementación electrónica					
02.01	1	Microcontrolador ATmega 328P-PU de Atmel con bootloader, encapsulado DIP 28	Ud.	6,98€	6,98€
02.04	1	Cristal de cuarzo Oscilador de Cristal de cuarzo HC49 de bajo perfil de cuarzo con una frecuencia de 16 MHz	Ud.	0,52€	0,52€
02.02	1	Rf600e Codificador, IC, encoder Keeloq, DIP8	Ud.	3,46€	3,46€
02.04	1	AM-RT4-433 Transmisor de RF, AM, 433MHz	Ud.	8,11€	8,11€
02.05	3	Interruptores Interruptor basculante de 2 posiciones negro	Ud.	0,83€	2,49€
02.05	6	Pulsadores Pulsadores panel encastar cuadrado 1NA ROJO	Ud.	0,785€	4,71€
02.06	24	LED blanco LED de Alta luminosidad. Diámetro 5mm	Ud.	0,65€	15,6€
02.07	1	LED verde	Ud.	0,4€	0,4€
02.08	16	Resistencias de 1/4W	Ud.	0,04€	0,64€

		Resistencias de diferentes valores			
02.09	2	Condensadores de 22pF Condensadores cerámicos de 22pF	Ud.	0,051€	0,1€
02.10	1	Pilas alcalinas Pack de 4 pilas AA Energizer Ultra Plus	Ud.	5,65€	5,65€
02.11	1	Placa de puntos Placa C.I 2 cuadrados 100X160MM	Ud.	7€	7€
02.12	1	Zócalo para DIP 28 Zócalo para integrados DIP 28	Ud.	0,5€	0,5€
02.13	1	Zócalo para DIP 8 Zócalo para integrados DIP 8	Ud.	0,45€	0,45€
02.14	2	Funda termorretráctil Tramo de 1200mm. 1,2mm de diámetro. En colores rojo y negro	Ud.	1,50€	3€
Total Capítulo 1.2					59,61€
Total subproyecto 1					124,05€
Subproyecto (2) Pantalla					
Capítulo 1. Materiales y construcción mecánica de la pantalla					
01.01	3	Tablones contrachapado 120x60 cm Tablas de madera de contrachapado de 120x60cm con 5 cm de espesor	Ud.	7,65€	22,95€
01.02	1	Imprimación madera Imprimación blanca para madera de la marca Luxens de 0,5L	Ud.	6,10€	6,10€
01.03	1	Pintura verde pistacho Pintura verde pistacho de la marca Luxens para mobiliario interior de 0,75L	Ud.	9,95€	9,95€
01.04	1	Pintura negra Esmalte sintético de color negro de la marca Titanlux de 125ml	Ud.	4,95€	4,95€
01.05	2	Adhesivo Cola adhesiva "No más clavos" de Pattex	Ud.	11,75€	23,5€
01.06	1	Barra reparadora de madera Super barra reparadora de madera "ceys"	Ud.	5,50€	5,50€
01.07	2	Bisagras Bisagras de latón cuero de 60x40mm	Ud.	2,45€	4,9€
01.08	1	Aldaba Aldaba de hierro latonado de 60mm	Ud.	2,65€	2,65€
01.09	1	Papel de embalar Rollo de papel de embalar blanco de 1x4m	Ud.	2€	2€
01.10	1	Papel de acetato 6 folios de papel de acetato tamaño Din A 4	Ud.	0,60€	0,60€
01.11	1	Cartulina metalizada Pack con 10 cartulinas metalizadas	Ud.	1,50€	1,50€
01.12	6	Pulsadores	Ud.	0,785€	4,71€

		Pulsadores panel encastar redondo 1NA ROJO			
01.13	3	Conmutador basculante 2P 2C Conmutador basculante de tecla nueva con 2 posiciones y 2 circuitos	Ud.	1,82€	5,46€
01.14	1	Conmutador palanca pequeño 2P 1C Conmutador de palanca pequeño de 2 posiciones y 1 circuito con caja de acero inoxidable, palanca de latón cromado y roscado de latón niquelado	Ud.	1,04€	1,04€
01.15	1	Micrófono electret Micrófono omnidireccional con respuesta de 50Hz-16000Hz de 6mm de la marca PRO SIGNAL	Ud.	0,91€	0,91€
01.16	1	Conector Jack Conector jack 3,5mm hembra con el capuchón de plástico de 3 polos y con conexiones a soldas	Ud.	0,66€	0,66€
01.17	24	Diodos LED 5mm CLEAR RGB 35° Diodos led de 5 mm de alta luminosidad transparente con colores rojo, verde, azul, apertura de 35º y ánodo común	Ud.	0,74€	17,76€
01.18	1	Clavos Paquete de 150 clavos con cabeza de 11mm	Ud.	3,60€	3,60€
Total Capítulo 2.1					118,74 €
Capítulo 2. Componentes e implementación electrónica					
02.01	1	Microcontrolador ATmega 328P-PU Microcontrolador ATmega 328P-PU de Atmel con bootloader, encapsulado DIP 28	Ud.	6,98€	6,98€
02.02	1	Cristal de Cuarzo Oscilador de Cristal de cuarzo HC49 de bajo perfil de cuarzo con una frecuencia de 16 MHz	Ud.	0,52€	0,52€
02.03	2	Condensadores de 22pF Condensadores cerámicos de 22pF	Ud.	0,13€	0,26€
02.04	1	AM-HRR3-433 Receptor de RF, AM, 433MHz	Ud.	13,85€	13,85€
02.05	1	RF600D Decodificador, IC con encapsulado DIP18	Ud.	5,15€	5,15€
02.06	1	LED LED rojo	Ud.	0,4€	0,4€
02.07	6	CD4072B Puertas OR, 2 por IC de 4 entradas en encapsulado DIP 14	Ud.	0,39€	2,34€
02.08	1	74LS04 Puertas NOT, 6 por IC en encapsulado DIP 14	Ud.	0,42€	0,42€
02.09	1	ISD1916 Reproductor/grabador de voz con capacidad de hasta 32 segundos y 8 divisiones.	Ud.	4,75€	4,75€

02.10	20	Resistencias de 1/4W Resistencias de diferentes valores	Ud.	0,04€	0,8€
02.11	4	Condensador de 0,1 uF Condensadores de poliéster de 0,1 uF	Ud.	0,2€	0,8€
02.12	2	Condensador de 10 uF Condensadores electrolíticos de 10uF	Ud.	0,21€	0,42€
02.13	2	Condensador de 4,7 uF Condensadores electrolíticos de 4,7uF	Ud.	0,21€	0,42€
02.14	1	Placa de puntos Placa C.I. 2 cuadrados 100X160MM	Ud.	7€	7€
02.15	1	Placa de puntos Placa C.I. cuadrados 160X100mm.	Ud.	7€	7€
02.16	1	Zócalo 28 Zócalo para integrados DIP 28	Ud.	0,5€	0,5€
02.17	1	Zócalo 18 Zócalo para integrados DIP 18	Ud.	0,99€	0,99€
02.18	7	Zócalos 14 Zócalos para integrados DIP 14	Ud.	0,54€	3,78€
02.19	2	Funda termorretráctil Tramo de 1,50m. 1,2mm de diámetro. En colores rojo y negro	Ud.	0,75€	1,50€
02.20	1	Conectores regleta 2,54mm pin torneado hembra recta corta 40 contactos	Ud.	1,32€	1,32€
02.21	1	Fusible Fusible de 5x20 de 2A y 250V	Ud.	0,12€	0,12€
02.22	1	Portafusibles Portafusibles de circuito impreso para fusibles de 5X20 mm y hasta 6,3A	Ud.	0,17€	0,17€
02.23	1	Adaptador de corriente TRUST Adaptador de corriente la marca TRUST con tensión de salida ajustable 100-240V 50/60Hz a 9.5/12/14/16/18.5 V, 1.5A-3.5A y conector ajustable.	Ud.	24,99€	24,99€
Total Capítulo 2.2					86,96 €
Total subproyecto 2					205,7€
Gastos comunes					
01.01	1	ARDUINO Placa ARDUINO UNO REV3	Ud.	21€	21€
TOTAL					
350,75€					

En esta tabla no se incluyen los honorarios por tratarse de una entrega académica. Para cumplir con la formalidad que debe tener un presupuesto, se incluyen

a continuación los honorarios de los ingenieros del proyecto, coste que no se cargará al colegio:

Tomando como referencia el salario por hora de un ingeniero superior en proyectos de la Universidad Carlos III de Madrid: 20,5 €/hora.

Cargas económicas:

Seguridad Social: 27%

Desempleo: 1,5%

Coste hora total: 26,3425 €/hora

Desglose en número de horas de cada tarea del proyecto:

<u>TAREA</u>	<u>Nº HORAS</u>	<u>COSTE/HORA</u>	<u>COSTE TOTAL</u>
DISEÑO Y PRUEBAS	60	26,3425€	1580,55€
FABRICACIÓN	140	26,3425€	3687,95€
DOCUMENTACIÓN	30	26,3425€	790,275€
PRUEBAS FINALES	3	26,3425€	79,0275€

Tabla 9. Desglose horas/tarea

TOTAL: 6137,8025 €/ingeniero x 2 ingenieros = 12.275,605€

Capítulo 5. Conclusiones y posibles líneas futuras

5.1 Conclusiones

A término de este proyecto se puede concluir que se han cumplido todos los objetivos.

Tras probarlo en el colegio, se pudo comprobar que satisfacía plenamente el objetivo del estímulo de la relación causa-efecto en los alumnos, y se pudo apreciar también claramente que establecían dicha relación fijándose tanto en la pantalla como en el mando, entendiendo la labor de cada uno y actuando en consecuencia. En definitiva, jugando.

Por otra parte también se cumplió el objetivo de diseñar y construir el sistema con el menor coste posible, que finalmente ascendió a 328.51€ muy por debajo de productos similares en el mercado como los que se describen en apartados anteriores que rondaban los 4600€ [3].

A mayores, desde el punto de vista del conocimiento adquirido, se puede decir que de nuevo se ha cumplido un objetivo ya que se ha podido establecer vínculos entre el aprendizaje fundamentalmente teórico de las asignaturas de la carrera y la implementación de un sistema real, con las restricciones que éste presenta.

El haber realizado el proyecto por encargo del colegio, no hace sino acrecentar la sensación de trabajar en algo real, tangible y que, además, va a ser útil para gente que lo necesita, lo que da sentido a todo el trabajo que haya podido conllevar.

5.2 Líneas futuras

Aun siendo un proyecto bastante cerrado y por lo demás poco dado a admitir futuras ampliaciones, podrían considerarse ciertas mejoras.

Respecto a la **parte mecánica**, la impresión de las piezas se podría haber realizado con plástico PLA. Está cada vez más probado que el PLA ofrece un mejor comportamiento ante las deformaciones que se producen por el gradiente de temperatura, es más rígido y se adhiere mejor a la plataforma de impresión. La razón de no utilizarlo en este caso fue que no se disponía de él en el laboratorio y se decidió aprovechar el ABS, con el que ya se contaba.

Respecto a la **parte electrónica**, la circuitería podría trasladarse a una placa PCB que reforzara la robustez del cableado.

Se podría además incluir un regulador de la intensidad de luz que permitiese aumentar su intensidad o disminuirla dependiendo de la luz ambiente que hubiera

cuando se estuviera jugando. Este control podría hacerse de manera manual por el profesor a través un potenciómetro que permitiera circular una mayor o menor intensidad de corriente por los LEDs, o bien automáticamente.

El control automático de la luminosidad de los pulsadores se realizaría generando un control por PWM mediante integrados NE555 [10] utilizando la corriente percibida por un fotodiodo. Esta corriente, que dependerá proporcionalmente a la cantidad luz ambiental, tras pasar por alguna necesaria etapa de amplificación, hace de entrada de control a un conjunto formado por dos NE555 funcionando uno en modo astable como generador del pulso de trigger, y el segundo en modo monoestable generando una PWM apta para ser procesada que entregará más o menos corriente a una etapa posterior que finalmente albergaría el driver de los LEDs.

Otra mejora sustancial al proyecto sería utilizar OLED de superficie extensa [11] en el centro del pulsador, lo que permitiría que toda la superficie pudiera iluminarse en color blanco o del color de la propia casilla (utilizando OLED RGB [12]) para facilitar al usuario la información sobre el color incluso en situaciones de baja luminosidad.

En última instancia, podrían variarse mediante la programación del μC y/o añadiendo más interruptores de juego a los dos ya existentes (lo que supondría también variar el diseño de la pieza que los alberga) los MDJ y MDF por otros o añadir nuevos, incluyendo alguno que permitiera jugar solamente con el mando en el caso preferirlo así. La recompensa, actualmente generada desde la pantalla, podría realizarse en el mando incorporando un pequeño altavoz para cuando se utilizara el sistema en esta modalidad.

Bibliografía

[1] Ramos Nodal, Javier. “Desarrollo de una ayuda técnica para alumnos del colegio San Rafael (11): Mando y panel multisensorial”

[2] <http://www.diseñoparatodos.es/es-es/faqs/Paginas/principios.aspx>

Última vez consultada: 28/5/2014

[3] <http://www.handycat.com>

Última vez consultada: 4/6/2014

[4] <http://www.edu.xunta.es/centros/cfrcoruna/aulavirtual/file.php/108/Causa-efecto.pdf>

Última vez consultada: 29/5/2014

[5] Carter, Bruce y Mancini, Ron. “Op Amps for everyone” Third Edition (2009)

[6] <http://www.tuelectronica.es/tutoriales/arduino/varios-pulsadores-por-linea-de-entrada-en-arduino.html#>

Última vez consultada: 6/3/2014

[7] <http://arduino.cc/en/Tutorial/ArduinoToBreadboard>

Última vez consultada: 12/12/2014

[8] <http://www.taringa.net/posts/hazlo-tu-mismo/14939142/Te-gusta-electronica-Entra-MegaPost--circuitos.html>

Última vez consultada: 10/5/2014

[9] <http://www.etnassoft.com/biblioteca/manual-de-programacion-arduino/>

Última vez consultada: 11/6/2014

[10] Vergaz Benito, Ricardo. Apuntes “Sesión 19. Aplicaciones no lineales de los A.O. (II)”. Electrónica Analógica II. Universidad Carlos III de Madrid (6/12/2012)

[11] http://www.osram.es/osram_es/noticias-y-conocimiento/oled--home/conocimiento-profesional/innovaciones-tecnicas/index.jsp

Última vez consultada: 22/6/2014

[12] <http://www.verbatimluz.com.co/article/velve-oled/>

Última vez consultada: 22/6/2014

Índice de acrónimos

ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
AM	Amplitud Modulada
LED	Light-Emmiting Diode (Diodo emisor de luz)
MDF	Modo de funcionamiento
MDJ	Modo de juego
PCB	Printed Circuit Board (Placa de circuito impreso)
RGB	(Red Green Blue): Hace referencia a LEDs especiales capaces de generar por modulación cualquier color a partir de la mezcla de primarios.
PLA	Poliácido Láctico
PP	Polipropileno
RF	Radio Frecuencia

Anexos

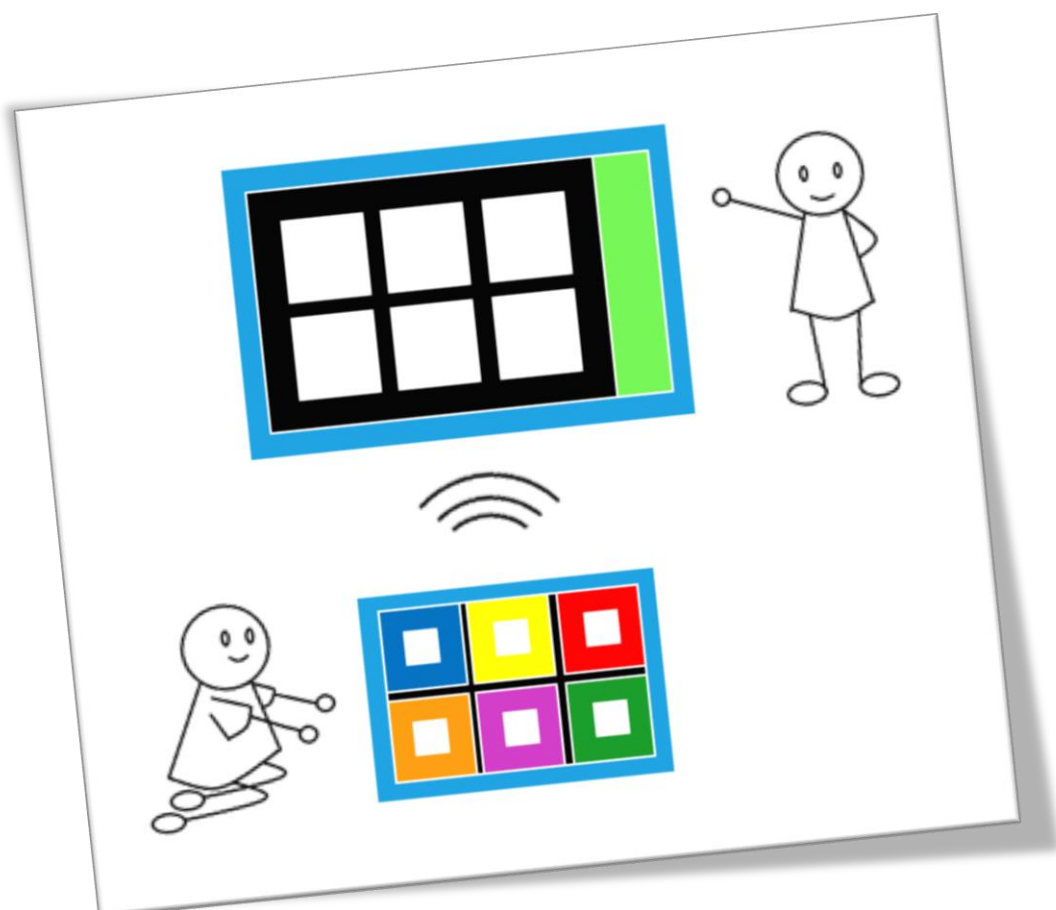
A.1 Manual de usuario

Manual de Usuario

Mando y panel multisensorial interactivo

Universidad Carlos III de Madrid

Javier Ramos Nodal y Alba Rodríguez Lorente



Índice parcial (Manual de usuario)

1. Contenido	110
2. Para jugar	111
2.1 Encendido.....	112
2.2 Modos de Juego	112
a. Juego 1	112
b. Juego 2	112
2.3 Modos de funcionamiento.....	113
a. Secuencial.....	113
b. Aleatorio.....	114
3. Audio	114
3.1 Mensajes de voz.....	114
a. Para grabar.....	115
b. Para reproducir	115
3.2 Altavoces	116
4. Alimentación y pilas	116
4.1 Pantalla.....	116
4.2 Mando	116
5. Posibles problemas y sus soluciones.....	117

1. Contenido

El juego consta de un panel o Pantalla y un mando inalámbrico. Los altavoces no están incluidos en el diseño pero son necesarios para jugar (Fig.90).



Fig. 90 Pantalla y mando

La **pantalla** incorpora:

- Interruptor de On/Off
- 2 interruptores de modos (Juego y Funcionamiento)
- Micrófono
- Palanca selectora de Play/Rec
- 6 Pulsadores de acceso al audio (1 por color)
- Entrada de audio
- Entrada de alimentación
- 1 adaptador de corriente

El **mando** incorpora:

- El interruptor de On/Off
- 2 interruptores de modos (Juego y funcionamiento)
- 6 pulsadores de colores con luz (accesibles también mediante Pulsador por jack)

- Carcasa portapilas
- LED de alarma del nivel de batería

2. Para jugar

Hay 3 tipos de mandos en el juego para interactuar con él.

- **Interruptores:** de On/Off y modos. Para activarlos hay empujar la parte sobresaliente hacia lo que quieres marcar (Fig.91):



Fig. 91 Ejemplo del accionamiento de los interruptores

En la pantalla están colocados en vertical y en horizontal en el mando.

- **Palancas:** hay que ponerla apuntando a lo que quieres activar (Fig.92):

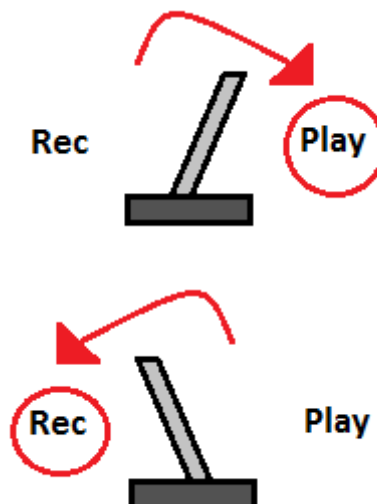


Fig. 92 Accionamiento de la palanca

- **Pulsadores:** basta con presionarlos para activarlos

2.1 Encendido

Conectar la pantalla a la corriente utilizando el adaptador y poner pilas al mando.

Hay que poner tanto el mando como la pantalla en la posición ON del interruptor correspondiente (Fig.93). Los interruptores del mando se encuentran ocultos en la cajetilla.

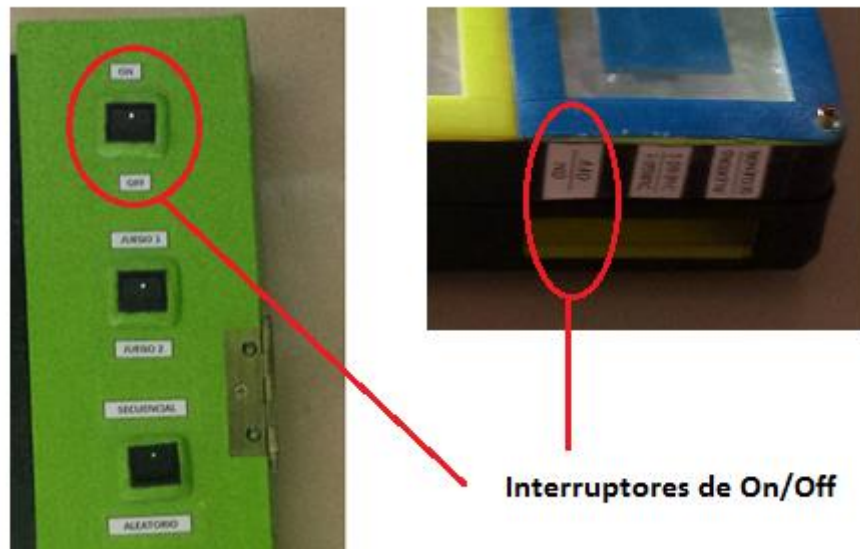


Fig. 93 Interruptores On/Off

2.2 Modos de Juego

a. Juego 1

Una de las casillas del mando se iluminará pidiendo ser pulsada. Cuando el niño acierte, la casilla correspondiente al mismo color en la pantalla se iluminará durante 3 segundos y se reproducirá el mensaje de voz guardado para ese color (ver “3.1 Grabación de voz”).

Es NECESARIO poner tanto en la pantalla como en el mando el interruptor de Modo de Juego hacia JUEGO 1 (Fig.94).

b. Juego 2

La pantalla es la que se ilumina mostrando una cadena progresiva de colores de longitud 1 a 6 que el niño deberá reproducir en el mando. De este modo una de las casillas de la pantalla se iluminará (ej.: naranja) y el juego quedará esperando la pulsación en la casilla naranja del mando.

- Si se acierta se le recompensará con un sonido de acierto. Tras esto la pantalla encenderá dos colores, aumentando en 1 la cadena comenzada (ej.: naranja - morado). Mientras que no se falle la cadena se irá incrementando hasta 6 colores, y después volverá a comenzar.

- Si se falla, un sonido de error indicará el fallo y se volverá a empezar desde el principio mostrando un solo color.

Es NECESARIO poner tanto en la pantalla como en el mando el interruptor de Modo de Juego hacia JUEGO 2 (Fig.94).

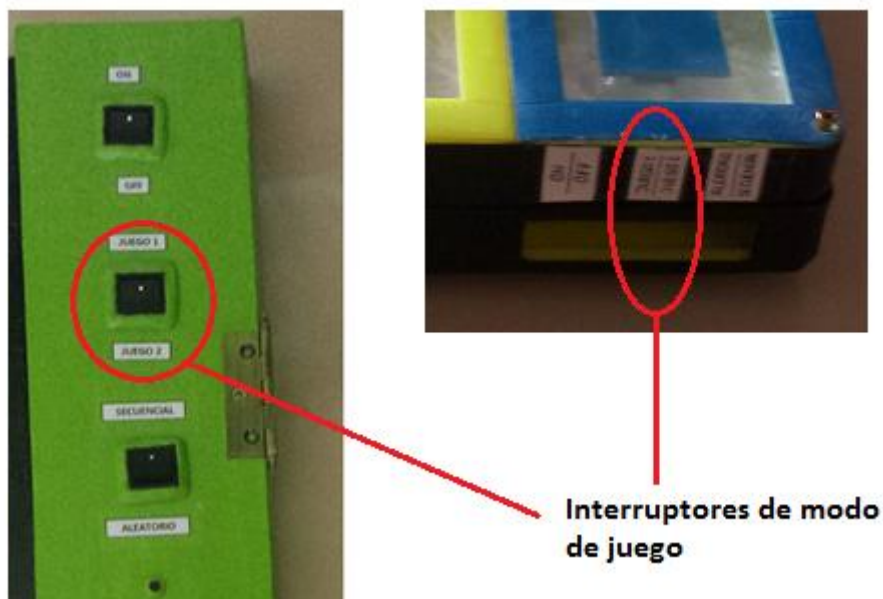


Fig. 94 Interruptores de modo de juego

2.3 Modos de funcionamiento

Cada uno de los dos modos de juego se puede jugar en modo secuencial o aleatorio (Fig.95).

a. Secuencial

Los colores se iluminarán siguiendo la secuencia: **Azul** – **Amarillo** – **Rojo** – **Naranja** – **Morado** – **Verde**.

Para seleccionarlo: En el MDJ1, poner el interruptor de Modo de Funcionamiento del mando orientado hacia SECUENCIAL. En el MDJ2, igual pero con el interruptor de la pantalla.

b. Aleatorio

Los colores se iluminarán aleatoriamente de entre los colores posibles, pudiendo repetirse más de una vez en el juego 2.

Para seleccionarlo: En el MDJ1, poner el interruptor de Modo de Funcionamiento del mando orientado hacia ALEATORIO. En el MDJ2, igual pero con el interruptor de la pantalla.

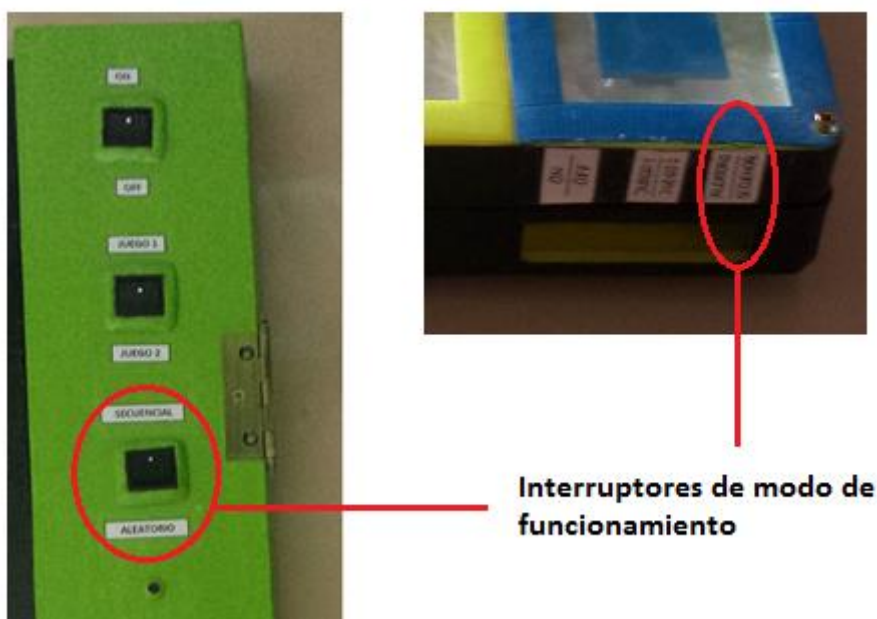


Fig. 95 Interruptores de modo de funcionamiento

3. Audio

3.1 Mensajes de voz

El Juego 1 incluye la reproducción de los mensajes grabados en la pantalla. Se pueden grabar un máximo de 6 mensajes, uno por cada casilla (Fig.96).



Fig. 96 Pulsadores de acceso al audio

a. Para grabar

- Seleccionar en la botonera de la pantalla la opción *Rec* moviendo la palanca 1 hacia la izquierda (Fig.97).
- Mantener pulsado el pulsador del color de la casilla en la que se quiere grabar mientras se introduce el mensaje hablando a una distancia de 20 cm por el micrófono.

b. Para reproducir

- Mover la palanca 1 de la botonera hacia la derecha apuntando a la opción *Play* (Fig.97).



Fig. 97 Micrófono y palanca selectora de Play/Rec

El Juego 1 reproduce automáticamente el mensaje grabado cuando se acierta. En el caso de querer probar cómo ha quedado la grabación, se hará presionando brevemente el pulsador del color correspondiente en la botonera.

3.2 Altavoces

- Conectar los altavoces en el único Jack de 3.5 mm que hay en la botonera (Fig.98).

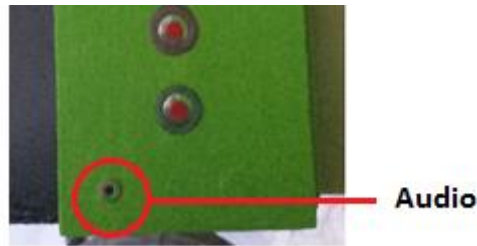


Fig. 98 Puerto Jack de entrada para los altavoces

4. Alimentación y pilas

4.1 Pantalla

La pantalla se alimenta mediante un adaptador de corriente que se conectará a ella por el puerto Jack de 5.5x2.1 mm tipo 's' situado en la esquina inferior derecha (Fig.99).



Fig. 99 Entrada de alimentación de la pantalla

4.2 Mando

El mando se alimenta con 3 pilas AA a las que se accede por debajo con una tapa deslizante asegurada con un tornillo (Fig.100).

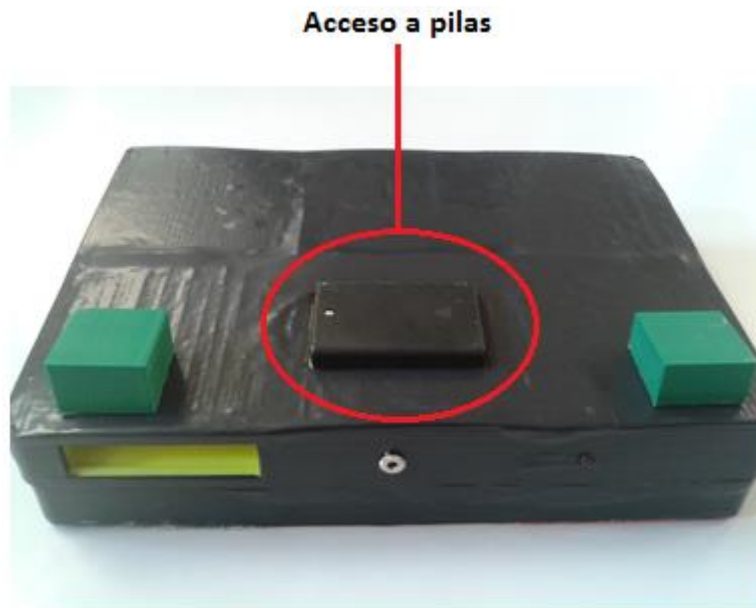


Fig. 100 Acceso a la carcasa de las pilas

El nivel de la batería se comprueba con un LED que cambiará de color entre verde (nivel de batería correcto) y rojo (nivel bajo).

5. Posibles problemas y sus soluciones

En la pantalla:

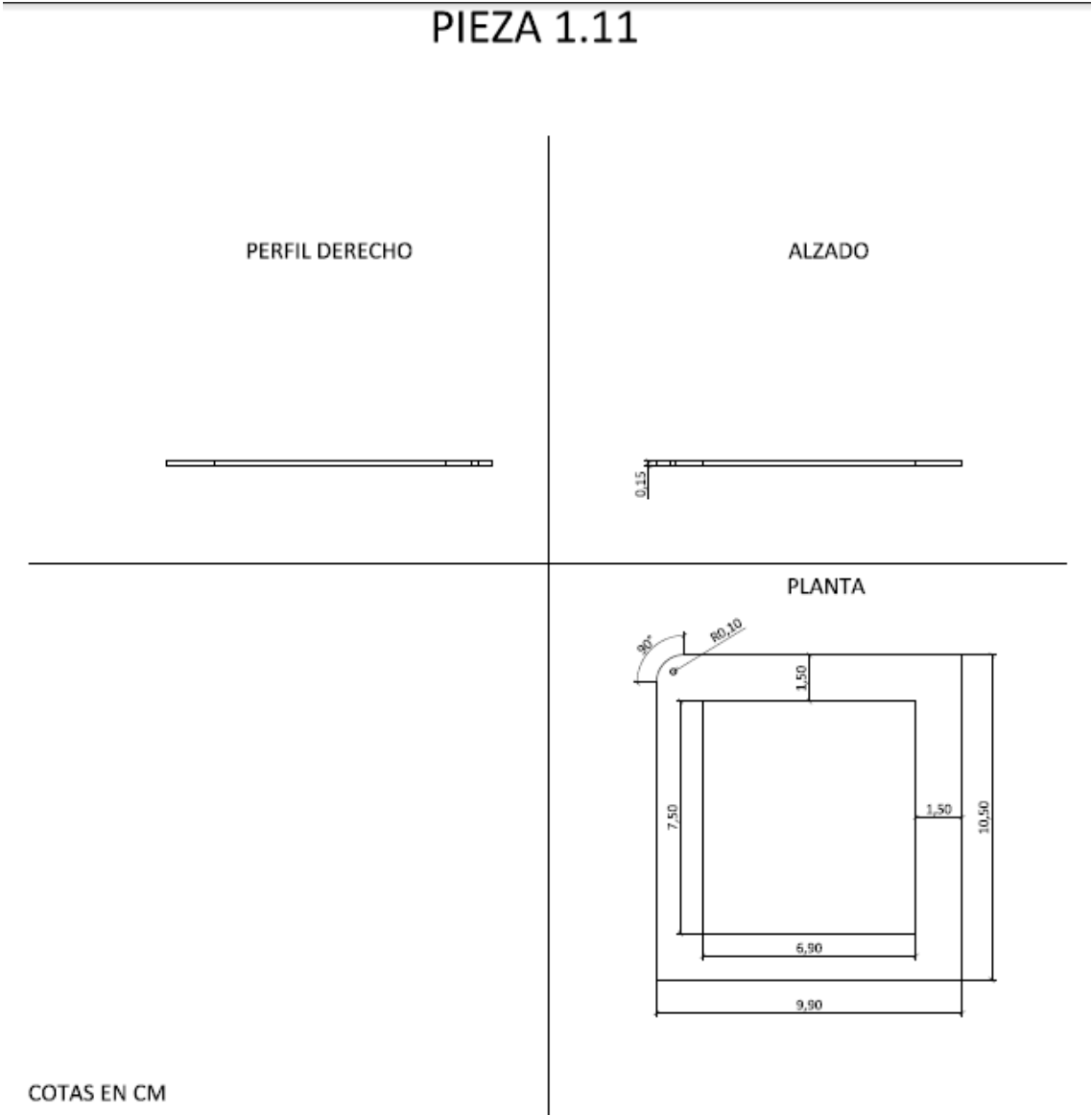
- Si no luce alguna casilla, revisar todos los cables blancos numerados de A1 a A6.
- Si cambia el color de alguna casilla, revisar que estén bien conectados los cables etiquetados como ROJO y AZUL.
- Si los pulsadores de grabación no funcionan, revisar los cables enumerados de P1 a P6.
- Si la pantalla no funciona, revisar el estado del fusible y que estén conectados todos los cables Vcc y GND en sus respectivos conectores.
- Si no funciona el audio, comprobar la conexión del cable AUX.

En el mando:

- Si no luce alguna casilla: destapar la parte superior, y revisar que allí los cables etiquetados desde el 2 al 13, están bien introducidos en el conector siguiendo las indicaciones de la etiqueta que lo acompaña.
- Si no funciona algún pulsador o no actúa como debe: destapar la parte superior y revisar que allí los cables del 14 al 19 están bien introducidos en el conector siguiendo las indicaciones de la etiqueta que lo acompaña. Si están correctamente conectados revisar que luce el led verde en la placa del circuito al pulsar, de no ser así revisar la conexión a alimentación del integrado situado al lado del led.
- Si los modos de juego y/o funcionamiento no responden de la manera esperada: destapar la parte superior y revisar que en la inferior los cables 21 y 22 respectivamente están conectados en los conectores del mismo número en la placa.
- Si al encender no se enciende el led indicador de batería, abrir el mando y comprobar que todos los cables etiquetados como 1 lleguen a su respectivo conector, así como los cables 23, 24 y 25.

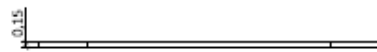
A.2 Planos de piezas construidas

A.2.1 Piso 1



PIEZA 1.2

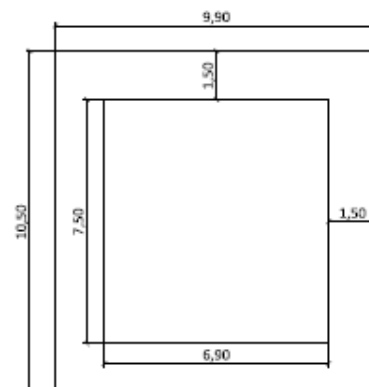
PERFIL DERECHO



ALZADO



PLANTA



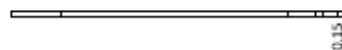
COTAS EN CM

PIEZA 1.12

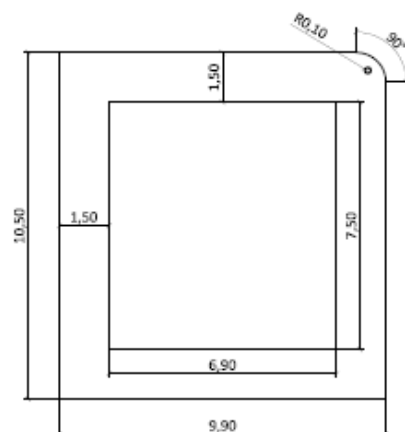
PERFIL DERECHO



ALZADO



PLANTA

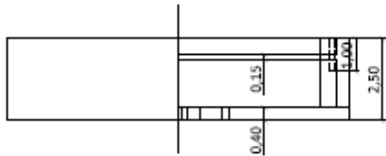


COTAS EN CM

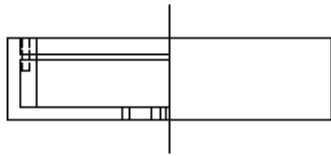
A.2.2 Piso 2

PIEZA 2.11

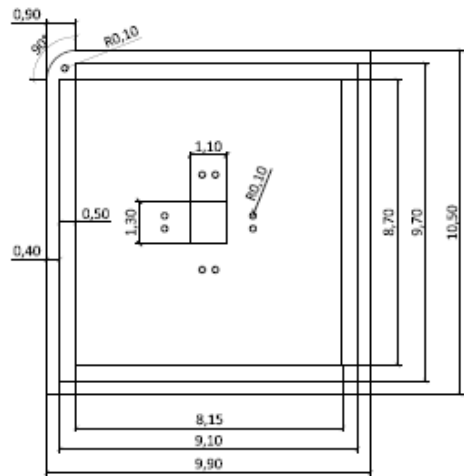
PERFIL DERECHO



ALZADO



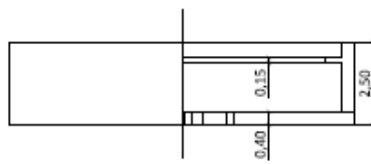
PLANTA



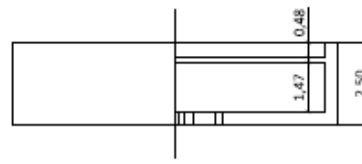
COTAS EN CM

PIEZA 2.2

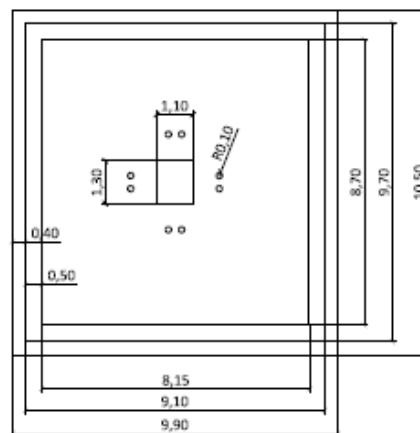
PERFIL DERECHO



ALZADO



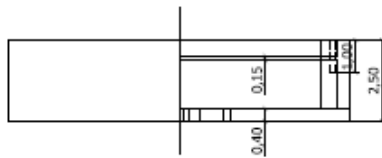
PLANTA



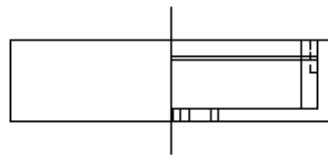
COTAS EN CM

PIEZA 2.12

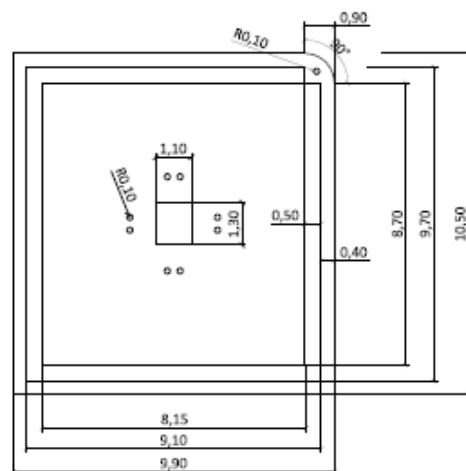
PERFIL DERECHO



ALZADO



PLANTA



COTAS EN CM

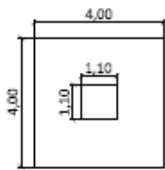
A.2.2.1 Extras (Piso 2)

PIEZA "SETA"

ALZADO

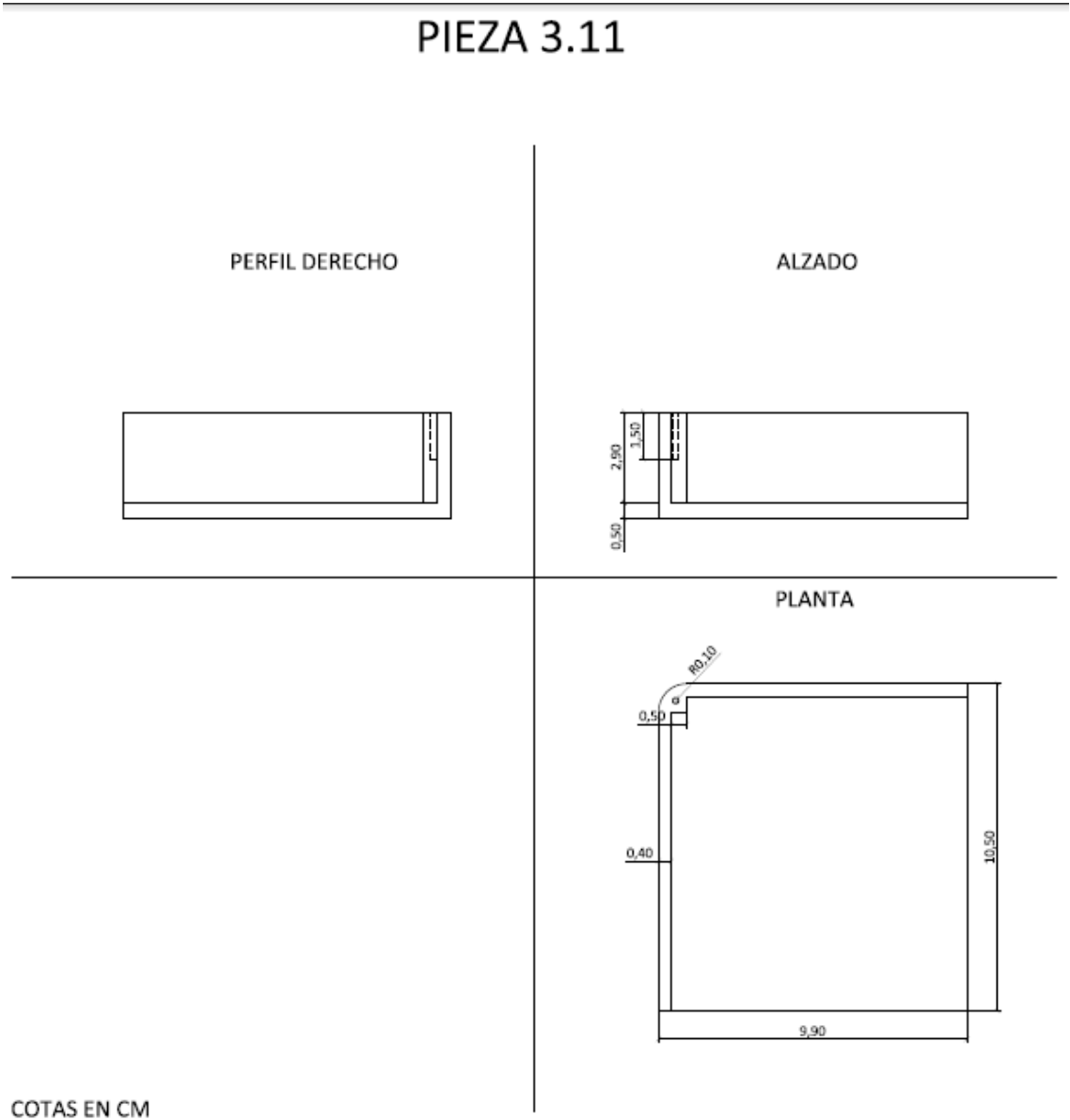


PLANTA



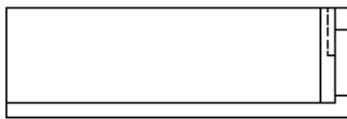
COTAS EN CM

A.2.3 Piso 3

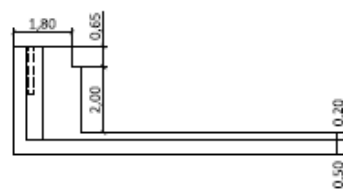


PIEZA 3.11-MODIFICADA

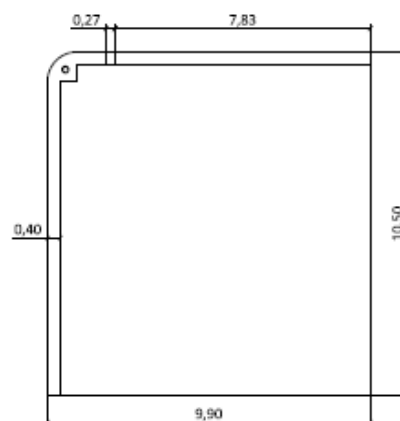
PERFIL DERECHO



ALZADO



PLANTA



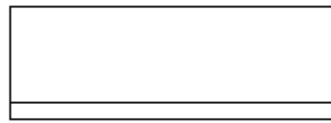
COTAS EN CM

PIEZA 3.2

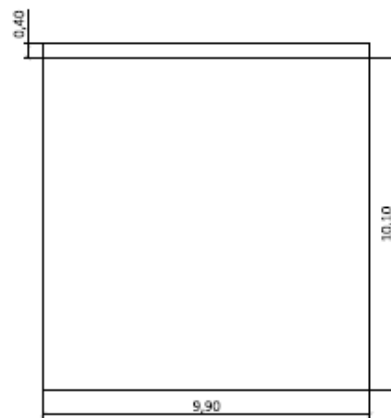
PERFIL DERECHO



ALZADO



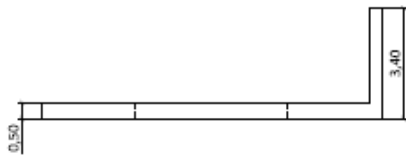
PLANTA



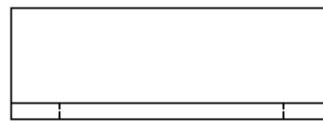
COTAS EN CM

PIEZA 3.2-MODIFICADA

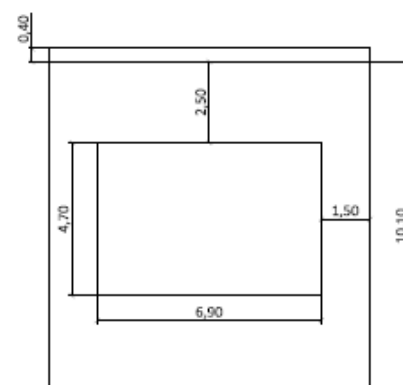
PERFIL DERECHO



ALZADO

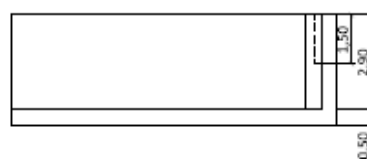
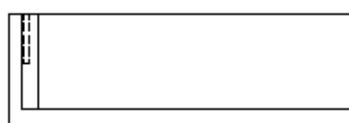


PLANTA

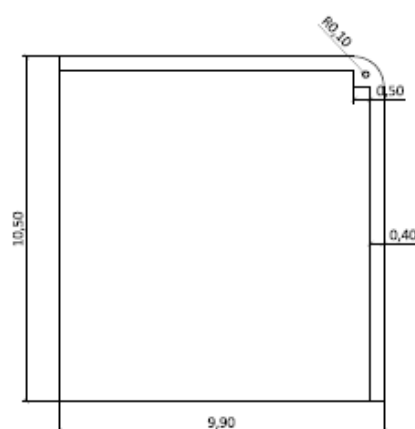


COTAS EN CM

PIEZA 3.12

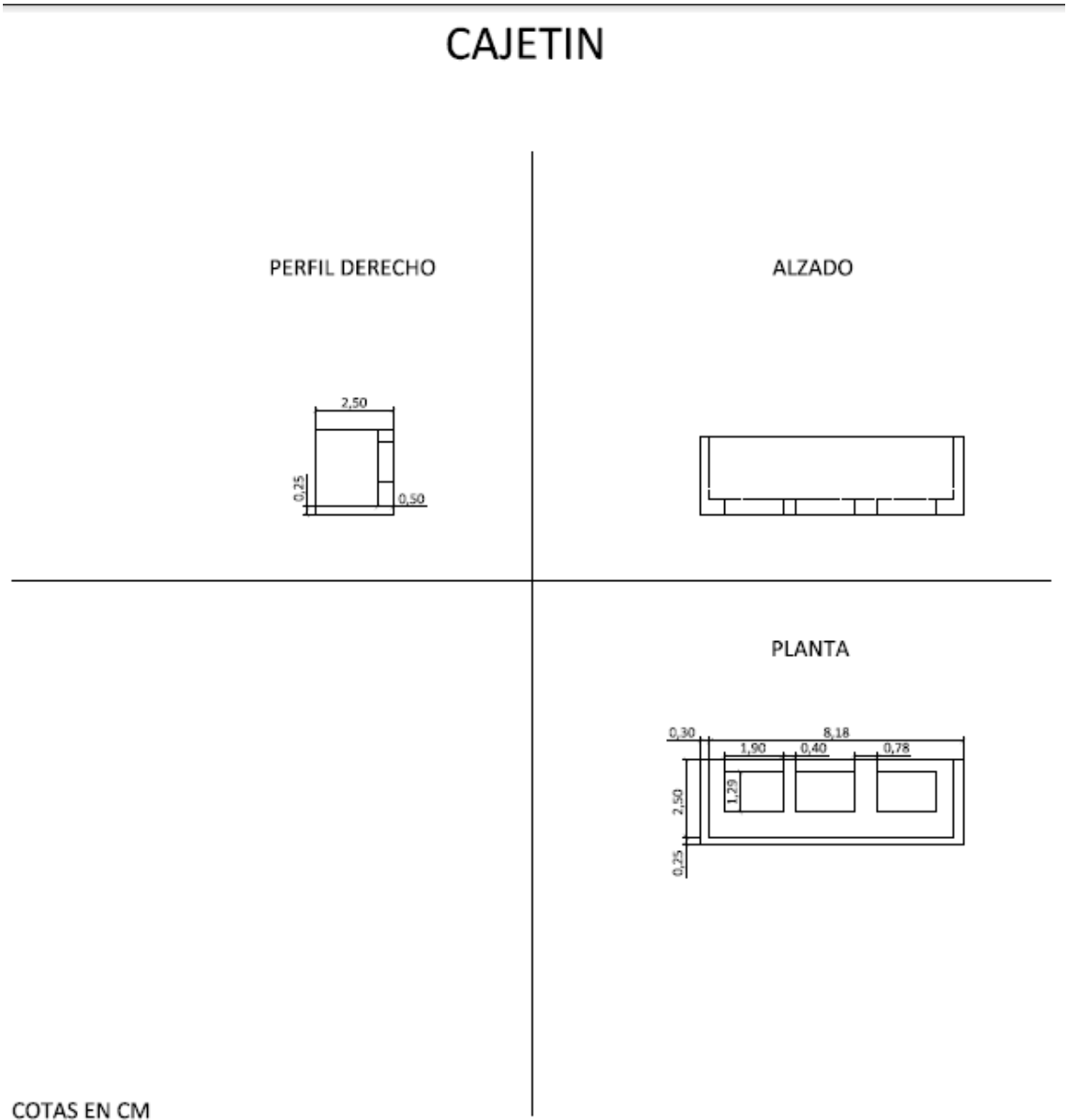


PLANTA



COTAS EN CM

A.2.3.1 Extras (Piso 3)

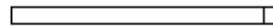


PIEZA EN "L"

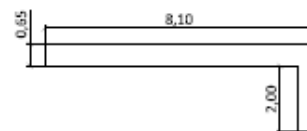
PERFIL DERECHO



ALZADO



PLANTA



COTAS EN CM

PATAS

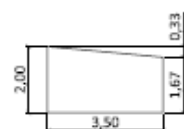
PERFIL DERECHO



ALZADO

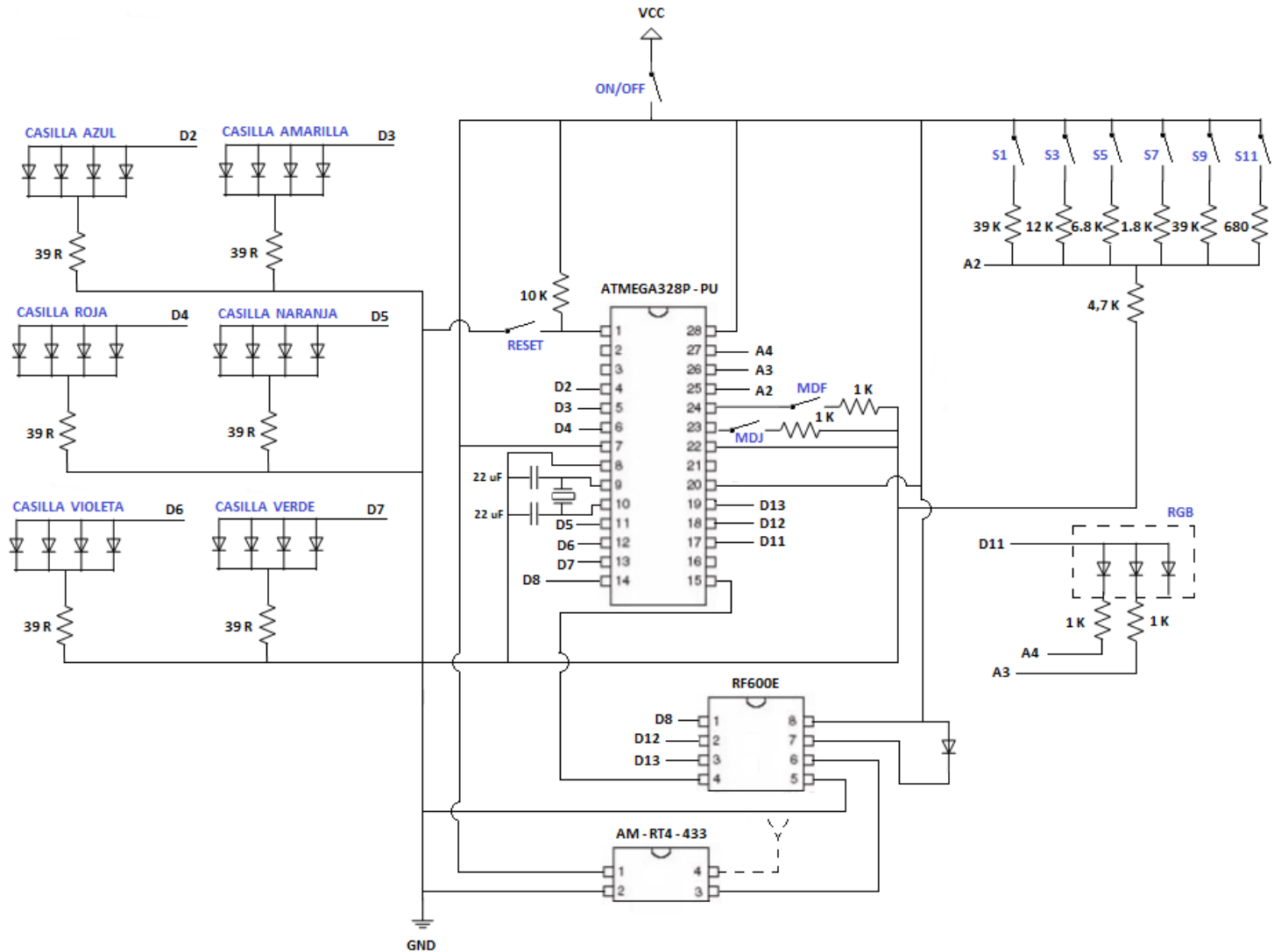


PLANTA



COTAS EN CM

A.3 Esquemático del circuito



A.4 Programa del microcontrolador

```
int casilla=0;

int aciertos=0;

int analogValue = 0; // ENTRADA ANALÓGICA QUE TENDRÁ UN VALOR U OTRO EN FUNCIÓN
DEL BOTÓN PULSADO

int cambio_funcionamiento = 1000;

int cambio_juego = 1000;

boolean cambio= true;


void LED (int led) //Función para seleccionar la matriz de LEDs a iluminar
{
    if (led==7 || led==4 || led==2)
    {
        digitalWrite (led,HIGH);
    }

    else
    {
        analogWrite (led,255);
    }
}

void APAGADO()
{
    //Ánodos
    digitalWrite (2,LOW);
    analogWrite (3,0);
    digitalWrite (4,LOW);
    analogWrite (5,0);
    analogWrite (6,0);
    digitalWrite (7,LOW);

}
```

```

void actuacion ()
{
    while (analogValue != casilla) // DEJAMOS EL LED ENCENDIDO HASTA PULSAR EL CORRECTO
    {
        analogValue = map(analogRead (A2), 0, 1024, 0, 13); // TOMA UN VALOR QUE SE
CORRESPONDE CON EL PULSADOR SOBRE EL QUE SE ACTUE
        cambio=true;

        // APROVECHAMOS EL BUCLE WHILE DE ESPERA PARA HACER QUE AL CAMBIAR DE MODO
DE FUNCIONAMIENTO SE REINICIE

        if (cambio_funcionamiento == 0 && analogRead (A1) < 100)
        {
            casilla = 0;
            break;
        }

        else if (cambio_funcionamiento == 1 && analogRead (A1) > 900)
        {
            break;
        }

        // APROVECHAMOS EL BUCLE WHILE DE ESPERA PARA HACER QUE AL CAMBIAR DE MODO
DE JUEGO SE REINICIE

        if (cambio_juego == 0 && analogRead (A0) < 100)
        {
            cambio=false;
            analogValue = 0;
            casilla=0;
            APAGADO ();

```



```

        break;
    }

    else if (cambio_juego == 1 && analogRead (A0) > 900)
    {
        cambio=false;
        analogValue = 0;
        APAGADO ();
        break;
    }

} // DEL WHILE

} // DE LA FUNCIÓN ACTUACION

void bateria_ok ()
{
    digitalWrite (11, HIGH);
    digitalWrite (17, HIGH);
    digitalWrite (18, LOW);
}

void bateria_low ()
{
    digitalWrite (11, HIGH);
    digitalWrite (17, LOW);
    digitalWrite (18, HIGH);
}

void setup ()
{

```

```

// SALIDAS LEDS MANDO
pinMode (2, OUTPUT);
pinMode (4, OUTPUT);
pinMode (7, OUTPUT);
/*pinMode (3, OUTPUT);
pinMode (5, OUTPUT);  CON PWM
pinMode (6, OUTPUT);*/

//CONTROL DE LA BATERÍA
pinMode (18, OUTPUT); //ROJO DE LA BATERÍA
pinMode (17, OUTPUT); //VERDE DE LA BATERÍA
pinMode (11, OUTPUT); //ÁNODO DEL RGB DE LA BATERÍA

// ENTRADAS ENCODER QUE CONTIENEN LA INFORMACIÓN SOBRE EL PULSADOR QUE
ESTAMOS PULSANDO
pinMode (8, OUTPUT);
pinMode (12, OUTPUT);
pinMode (13, OUTPUT);

// SALIDA ACIERTO
// pinMode (9, OUTPUT); CON PWM

// INTERRUPTOR MODO DE JUEGO
// analogRead (A0);

// INTERRUPTOR MODO DE FUNCIONAMIENTO
// analogRead (A1);

// PULSADORES
// analogRead (A2)

}

```

```

void loop ()
{
  if (analogRead (A5) > 512) //BATERÍA OK
  {
    bateria_ok ();
  }
  else
  {
    bateria_low ();
  }

  if (analogRead (A0)>900) // MDJ1
  {
    cambio_juego = 0;

    if (analogRead (A1) > 900) // MDF ALEATORIO
    {
      cambio_funcionamiento = 0;

      randomSeed (millis ());
      casilla = random (1,12);

      if (casilla%2==0) {casilla ++;} // COGEMOS SÓLO LOS IMPARES PARA QUE NO SE SOLAPEN
      LOS INTERVALOS
    }

    else if (analogRead (A1) < 100)// MDF SECUNCIAL
    {
      cambio_funcionamiento = 1;

      if (casilla > 11)
      {

```

```

    casilla = 1;
}

else
{
    casilla+=2;
}

}

switch (casilla)
{
    case 1:
        LED (2);

        actuacion ();
        if (cambio)
        {
            digitalWrite (8, HIGH); // S0 ENCODER
            digitalWrite (12, LOW); // S1 ENCODER
            digitalWrite (13, LOW); // S2 ENCODER
            analogWrite (9,255);
            APAGADO ();
        }
        delay (3100);

        break;

    case 3:
        LED (3);

```

```

actuacion ();

if (cambio)
{
    digitalWrite (8, LOW);
    digitalWrite (12, HIGH);
    digitalWrite (13, LOW);
    analogWrite (9,255);
    APAGADO ();
}
delay (3100);

break;

case 5:
LED (4);

actuacion ();

if (cambio)
{
    digitalWrite (8, LOW);
    digitalWrite (12, LOW);
    digitalWrite (13, HIGH);
    analogWrite (9,255);
    APAGADO ();
}
delay (3100);

break;

```

```
case 7:
  LED (5);

  actuacion ();

  if (cambio)
  {
    digitalWrite (8, HIGH);
    digitalWrite (12, HIGH);
    digitalWrite (13, LOW);
    analogWrite (9,255);
    APAGADO ();
  }
  delay (3100);
```

```
break;
```

```
case 9:
  LED (6);

  actuacion ();

  if (cambio)
  {
    digitalWrite (8, HIGH);
    digitalWrite (12, LOW);
    digitalWrite (13, HIGH);
    analogWrite (9,255);
    APAGADO ();
  }
  delay (3100);
```

```

break;

case 11:
LED (7);

actuacion ();

if (cambio)
{
digitalWrite (8, LOW);
digitalWrite (12, HIGH);
digitalWrite (13, HIGH);
analogWrite (9,255);
APAGADO ();
}
delay (3100);

break;
} //del switch


digitalWrite (8, LOW); // S0 ENCODER
digitalWrite (12, LOW); // S1 ENCODER
digitalWrite (13, LOW); // S2 ENCODER
analogWrite (9,0); // S3 ENCODER


} // DEL IF DE MDJ


else // MDJ2
{
cambio_juego = 1;
analogWrite (9,0);
analogValue = map(analogRead (A2), 0, 1024, 0, 13 );

switch (analogValue)
{

```

```
case 1:  
digitalWrite (8, HIGH); // S0 ENCODER  
digitalWrite (12, LOW); // S1 ENCODER  
digitalWrite (13, LOW); // S2 ENCODER  
break;
```

```
case 3:  
digitalWrite (8, LOW);  
digitalWrite (12, HIGH);  
digitalWrite (13, LOW);  
break;
```

```
case 5:  
digitalWrite (8, LOW);  
digitalWrite (12, LOW);  
digitalWrite (13, HIGH);  
break;
```

```
case 7:  
digitalWrite (8, HIGH);  
digitalWrite (12, HIGH);  
digitalWrite (13, LOW);  
break;
```

```
case 9:  
digitalWrite (8, HIGH);  
digitalWrite (12, LOW);  
digitalWrite (13, HIGH);  
break;
```

```
case 11:  
digitalWrite (8, LOW);
```



```
digitalWrite (12, HIGH);  
digitalWrite (13, HIGH);  
break;  
  
default:  
digitalWrite (8, LOW);  
digitalWrite (12, LOW);  
digitalWrite (13, LOW);  
}  
} // DEL ESLE (MDJ2)  
  
}
```

A.5 Enlaces a hojas de características

- ATMEGA328P-PU:

<http://www.atmel.com/Images/8161s.pdf>

- MC145026/MC145027:

http://www.freescale.com/files/rf_if/doc/data_sheet/MC145026.pdf

- RF600E:

<http://www.circuitstoday.com/wp-content/uploads/2009/03/RF600D.pdf>

- AM-RT4-433:

<http://www.rfsolutions.co.uk/acatalog/DS013-9%20AM-RTx.pdf>

- LED blanco:

<http://www.vishay.com/docs/81159/vlhw5100.pdf>

- LED RGB:

<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/YSL-R596CR3G4B5C-C10.pdf>